

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**CENTRO DE ESTUDOS DO MAR**

**RODRIGO AMIGHINI ROSA**

**FLUXOS DE NUTRIENTES E MATERIAL  
PARTICULADO NA BACIA DE DRENAGEM DO  
COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ – PR**

**PONTAL DO PARANÁ**  
**2010**

RODRIGO AMIGHINI ROSA

FLUXOS DE NUTRIENTES E MATERIAL  
PARTICULADO NA BACIA DE DRENAGEM DO  
COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ – PR

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciência da Terra da Universidade Federal do Paraná, pelo aluno Rodrigo Amighini Rosa, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos.

**Orientadora:** Prof. Dra. Eunice da Costa Machado.

PONTAL DO PARANÁ  
2010

*Ao meu avô, Milton Arlindo Rosa.*

## AGRADECIMENTOS

Durante estes dois anos de trabalho, eu pude contar com a ajuda e apoio de muitas pessoas, e aqui venho expressar meus mais sinceros agradecimentos:

À mãezona da Oceanografia Química, Professora Dra. Eunice da Costa Machado, pela confiança depositada, pelos ensinamentos, orientação e dedicação. Sem ela não teria feito este trabalho;

Aos membros da banca, por terem aceitado o convite e se dedicarem à leitura e críticas do meu trabalho;

À Msc. Byanka Damian Mizerkowski, futura Doutora, que logo que cheguei a pontal me colocou na maior “fria” que foi uma das melhores oportunidades que pude ter...no fim das contas trabalhar na ferrybox foi muito bom! E também pelas ajudas por MSN, nas coletas, e por também ter confiado no meu trabalho;

À Liciane, por toda paciência, ajuda, e ensinamentos transmitidos por ela durante estes dois anos. Ao Marcão, pelos seus conselhos e ensinamentos, e ao Oc.Felipe, futuro mestre, pela ajuda no laboratório;

Ao Professor Dr. Mauricio Camargo, pela ajuda na reta final com meus dados;

Ao Professor Dr. Eduardo Marone, por me ajudar a compreender melhor os fluxos e por facilitar as questões burocráticas para a realização das coletas;

Ao Professor Dr. Marcelo Dourado, por me ajudar com os dados de precipitação;

A todos que me ajudaram nas coletas, Bruno, Zé, Paula, e motoristas do CEM, muito obrigado!

Aos companheiros de laboratório, Birigui, Marília, Fabian, que com a amizade e companheirismo, contribuíram para que os dias no laboratório fossem mais divertidos;

A todos os amigos de Pontal, e de Santos: Glauco, Lizi, Magrão, Cami, Liana, Glaucia, Fer, Nôno, Zé, Lili, Tice, Kalina, Andressa, Mari, Létris, Dininha, Taty, que me receberam de braços abertos, e fizeram com que estes dois anos fossem mais prazerosos de se viver;

A toda turma de mestrado, que esteve unida o quanto pode, seja fazendo festa, ou fazendo trabalho para as disciplinas;

À minha família, que acreditou em mim, e sempre deu muita liberdade para as minhas escolhas;

À Carol, por toda a paciência e amor, por ter aguentado estes dois anos morando distante, e por me ajudar nos momentos críticos da dissertação;

À Gisela, por ter me ajudado a fazer o primeiro contato com a Professora Dra. Eunice, e por ter me apresentado a galera de Pontal;

Ao CNPq que contribuiu financeiramente para realização deste projeto;

À Deus, e a todos que posso ter esquecido, mas que contribuíram de algum jeito, muito obrigado.

*“Mucha luz és como mucha sombra,  
no le deja ver.”*

*(Octavio Paz)*

*“Para alcançar conhecimento, adicione  
coisas todo dia. Para alcançar  
sabedoria, elimine coisas todo dia. ”*

*( Lao-Tsé )*

## RESUMO

As fontes alóctones de materiais para os ecossistemas costeiros têm as bacias fluviais como principais vias de acesso. A bacia hidrográfica litorânea do Paraná apresenta um elevado potencial erosivo, decorrente da alta instabilidade natural e pela ação antrópica em algumas regiões. O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) apresenta dois eixos principais: L–O, que corresponde à Baía de Paranaguá e N–S, que contempla a Baía das Laranjeiras. Na primeira, foram investigados os rios Cachoeira, Cacatú, Faisqueira, Nhundiaquara, Guaraguaçu e Sagrado, e na segunda, os rios Guaraqueçaba, Serra Negra e Tagaçaba. As concentrações e os fluxos de nutrientes e material particulado foram quantificados ao longo de um ciclo anual nas bacias fluviais do CEP. A aplicação do índice de potencial de eutrofização costeira (IPEC) permitiu estimar os potenciais das bacias fluviais em eutrofizar o sistema estuarino e áreas costeiras adjacentes. O rio que apresentou maior vazão no CEP foi o Cachoeira, responsável também pelas maiores descargas de MPS (23 *Ton/Dia* no período chuvoso), nitrato (692 *Kg/Dia* no período seco), nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) (759 *Kg/Dia* no período seco), fósforo inorgânico dissolvido (PID) (49,45 *Kg/Dia* no período chuvoso) e silicato (12217 *Kg/Dia* no período seco) para o sistema. Variações sazonais significativas foram observadas na maioria dos rios para os diferentes aportes. As diferenças espaciais entre a Baía de Paranaguá e a Baía das Laranjeiras foram significativas somente para a concentração e aporte de nitrito. O IPEC exibiu, na maior parte dos rios, valores negativos, indicando ausência de potencialidade de eutrofização costeira pelo aporte fluvial. Apenas o rio Guaraguaçu apresentou valor positivo de IPEC, demonstrando o pequeno potencial de eutrofização costeira causado pelo excesso de N total em relação à sílica dissolvida. As razões N/P obtidas a partir das concentrações molares observadas nos rios que compõem o CEP indicam, em sua maior parte, limitação potencial pela disponibilidade de P em relação ao N. Os rios Guaraguaçu e Tagaçaba apresentaram, no entanto, razões N/P abaixo de 16, configurando assim ambientes que podem sofrer limitação por N. As razões calculadas a partir dos valores molares de N e P, em relação a Si foram baixas, demonstrando elevada disponibilidade de Si, o que permite inferir que os rios investigados no CEP não apresentam concentrações elevadas de nutrientes (N e P) provenientes de fontes antrópicas. Com base nos resultados deste estudo, os principais fatores que controlam os fluxos e concentrações nas bacias de drenagem do CEP são: a geomorfologia, os regimes pluviométricos, e as atividades antrópicas. De acordo com a resolução CONAMA 357/05, os rios investigados apresentaram concentrações de nutrientes e clorofila-a abaixo dos limites críticos preconizados, e podem ser inseridos nos padrões de águas doces da classe 1, se levado em conta apenas os parâmetros investigados. Este trabalho forneceu as informações necessárias para a elaboração e do balanço de materiais no CEP, demandando, portanto, estudos adicionais que contribuam para uma melhor compreensão dos processos biogeoquímicos que atuam neste sistema.

## ABSTRACT

Allochthonous sources of materials for coastal systems have the river basins as their main access. The coastal basin of Paraná has a high erosive potential due to the high instability caused by natural process and by human activities in some regions. Estuarine Complex of Paranaguá (ECP) has two main axes: Paranaguá Bay (axis L-O) and Laranjeiras Bay (axis N-S). The rivers Cachoeira, Cacatú, Faisqueira, Nhundiaquara, Guaraguaçu and Sagrado were investigated at Paranaguá Bay and the rivers Guaraqueçaba, Serra Negra and Tagaçaba at Laranjeiras Bay. The concentrations and fluxes of nutrients and particulate matter over an annual cycle in river basins of the ECP were characterized. In order to estimate the potential that river basins have to cause eutrophication in coastal areas, an index of coastal eutrophication potential (ICEP) was calculated. The river with the highest water flow in the ECP was the Cachoeira, also responsible for the largest discharges of suspended particulate matter (SPM) (23 *ton/day* in the rainy season), nitrate (692 *kg/day* in the dry season), dissolved inorganic nitrogen (DIN) (759 *Kg/day* in the dry season), dissolved inorganic phosphorous (DIP) (49.45 *kg/day* in the rainy season) and silicate (12217 *kg/day* in the dry season) for the system. Significant seasonal variations were observed in most of the rivers for many fluxes. The spatial differences between Paranaguá Bay and Laranjeiras Bay were only significant for nitrite fluxes. ICEP showed, in most rivers, negative values indicating no potential for eutrophication for coastal river intake. The river Guaraguaçu showed, however, positive value of ICEP, suggesting a small potential for coastal eutrophication, due to the excess of total N over dissolved silica. N/P ratios obtained from the molar concentrations observed in rivers from ECP indicate, mostly, potential limitation by phosphorus availability in relation to nitrogen. However, the rivers Guaraguaçu and Tagaçaba showed N/P ratio below 16, setting environments that could have been limited by N. The ratios calculated from the molar values of P, N over Si were low, suggesting high availability of Si and relatively low nutrient concentrations of P and N from anthropogenic sources in the rivers investigated in the ECP. The main factors controlling concentrations and flows in rivers in ECP are geomorphology, rainfall regimes, and human activities. According to CONAMA resolution 357/05, nutrient and chlorophyll-a concentrations in the investigated rivers were lower than the permitted levels and could be fitted to the freshwater class 1 category, if it were considered only the investigated parameters. This study provided the necessary information to the elaboration of the budget of non-conservative material in the CEP, helping to understand the biogeochemical processes that may operate in this system.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ E SUAS BACIAS DE DRENAGEM. OS RIOS APRESENTADOS NA FIGURA SÃO OS RIOS INVESTIGADOS, E OS PONTOS REPRESENTAM OS LOCAIS AMOSTRADOS. FONTE: LABORATÓRIO DE FÍSICA MARINHA, CEM, UFPR. ....	8
FIGURA 2. A) COLETA DE ÁGUA COM BALDE E ARMAZENAMENTO DA AMOSTRA EM GARRAFA DE PVC; B) MULTISONDA YSI; C) UTILIZAÇÃO DA MULTI-SONDA YSI.....	10
FIGURA 3. MÉDIAS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA. ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO: RIO GUARAQUEÇABA, BANANAL, COSTÃO E PASSO DO VAU (MUNICÍPIO DE GUARAQUEÇABA); ANTONINA E COLÔNIA CACHOEIRA (MUNICÍPIO DE ANTONINA); MORRETES E SÃO JOÃO DA GRACIOSA (MORRETES); IPANEMA (PONTAL DO PARANÁ); COLÔNIA SANTA CRUZ (PARANAGUÁ). FONTE: SUDERHSA.....	20
FIGURA 4. MÉDIAS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA. CONTRIBUIÇÃO PLUVIAL NA BAÍA DE PARANAGUÁ E NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. FONTE: SUDERHSA. ....	21
FIGURA 5. VALORES MÉDIOS MENSAIS DE PH EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. * OS VALORES DE PH NÃO FORAM OBTIDOS NO MÊS DE NOVEMBRO DE 2008 DEVIDO AO MAL FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO (MULTISONDA YSI) DURANTE A COLETA DE DADOS.....	22
FIGURA 6. VALORES MÉDIOS DE PH NOS RIOS DA BAÍA DE PARANAGUÁ .....	22
FIGURA 7. VALORES MÉDIOS DE PH NOS RIOS DA BAÍA DAS LARANJEIRAS .....	23
FIGURA 8. VALORES MÉDIOS MENSAIS DE TEMPERATURA EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS.....	23
FIGURA 9. VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURA NOS RIOS DA BAÍA DE PARANAGUÁ. ....	24
FIGURA 10. VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURA NOS RIOS DA BAÍA DE LARANJEIRAS. ....	24
FIGURA 11. VAZÕES MÉDIAS MENSAIS EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS.....	30
FIGURA 12. VAZÕES MÉDIAS DOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ.....	30
FIGURA 13. VAZÕES MÉDIAS DOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. ....	31
FIGURA 14. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE MPS EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM <i>TON/DIA</i> ; B) VALORES EXPRESSOS EM <i>KG MPS KM²DIA⁻¹</i> . * OS FLUXOS DE MPS NO MÊS DE ABRIL DE 2008 FORAM DESCONSIDERADOS POR APRESENTAREM DISCREPÂNCIAS EM RELAÇÃO AOS DEMAIS MESES, PROVAVELMENTE POR ALGUM ERRO ANALÍTICO NESTE MÊS. ....	31
FIGURA 15. FLUXOS MÉDIOS DE MPS NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM <i>TON/DIA</i> ; B) VALORES EXPRESSOS EM <i>KG MPS KM²DIA⁻¹</i> .....	32
FIGURA 16. FLUXOS MÉDIOS NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM <i>TON/DIA</i> ; B) VALORES EXPRESSOS EM <i>KG MPS KM²DIA⁻¹</i> . ....	33

FIGURA 17. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE CLOROFILA-A EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ CL\ KM^2DIA^{-1}$ .	34
FIGURA 18. FLUXOS MÉDIOS DE CLOROFILA-A NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ CL\ KM^2DIA^{-1}$ .	35
FIGURA 19. FLUXOS MÉDIOS DE CLOROFILA-A NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ CL\ KM^2DIA^{-1}$ .	35
FIGURA 20. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE NITRITO EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ N\ KM^2DIA^{-1}$ .	36
FIGURA 21. FLUXOS MÉDIOS DE NITRITO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ N\ KM^2DIA^{-1}$ .	37
FIGURA 22. FLUXOS MÉDIOS DE NITRITO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ N\ KM^2DIA^{-1}$ .	38
FIGURA 23. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE NITRATO EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ N\ KM^2DIA^{-1}$ .	39
FIGURA 24. FLUXOS MÉDIOS DE NITRATO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ N\ KM^2DIA^{-1}$ .	39
FIGURA 25. FLUXOS MÉDIOS DE NITRATO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ N\ KM^2DIA^{-1}$ .	40
FIGURA 26. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE AMÔNIO EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ N\ KM^2DIA^{-1}$ .	41
FIGURA 27. FLUXOS MÉDIOS DE NITRATO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ N\ KM^2DIA^{-1}$ .	42
FIGURA 28. FLUXOS MÉDIOS DE NITRATO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ N\ KM^2DIA^{-1}$ .	42
FIGURA 29. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE NID EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ N\ KM^2DIA^{-1}$ .	43
FIGURA 30. FLUXOS MÉDIOS DE NID NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ N\ KM^2DIA^{-1}$ .	44
FIGURA 31. FLUXOS MÉDIOS DE NID NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM $KG\ N\ KM^2DIA^{-1}$ .	44

- FIGURA 32. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE PID EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM  $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $KG P KM^2DIA^{-1}$ . 45
- FIGURA 33. FLUXOS MÉDIOS DE PID NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM  $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $KG P KM^2DIA^{-1}$ . 46
- FIGURA 34. FLUXOS MÉDIOS DE PID NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM  $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $KG P KM^2DIA^{-1}$ . 47
- FIGURA 35. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE SILICATO EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM  $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $KG SI KM^2DIA^{-1}$ . 47
- FIGURA 36. FLUXOS MÉDIOS DE SILICATO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM  $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $KG SI KM^2DIA^{-1}$ . 48
- FIGURA 37. FLUXOS MÉDIOS DE SILICATO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM  $KG/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $KG SI KM^2DIA^{-1}$ . 49
- FIGURA 38. INDICADOR DO POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO (IPEC) EM  $KG C KM^2DIA^{-1}$  PARA CADA RIO. ÍNDICE CALCULADO A PARTIR DOS FLUXOS MÉDIOS ANUAIS DE NIP, PID E  $Si(OH)_4$ . EM RELAÇÃO AO NID, SE O IPEC>0 – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE N ( $SI>N$ ); EM RELAÇÃO AO PID, SE O IPEC>0 – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE P ( $SI>P$ ). 50
- FIGURA 39. INDICADOR DO POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO (IPEC) EM  $KG C KM^2DIA^{-1}$  PARA CADA RIO. ÍNDICE CALCULADO A PARTIR DOS FLUXOS MÉDIOS ANUAIS DE N TOTAL, P TOTAL E  $Si(OH)_4$ . EM RELAÇÃO AO N TOTAL, SE O IPEC>0 – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE N ( $SI>N$ ); EM RELAÇÃO AO P TOTAL, SE O IPEC>0 – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE P ( $SI>P$ ). 51
- FIGURA 40. INDICADOR DO POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO (IPEC) EM  $KG C KM^2DIA^{-1}$  AO LONGO DO ANO. ÍNDICE CALCULADO A PARTIR DOS FLUXOS MÉDIOS ANUAIS DE NID, PID E  $Si(OH)_4$ . EM RELAÇÃO AO NID, SE O IPEC>0 – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE N ( $SI>N$ ); EM RELAÇÃO AO PID, SE O IPEC>0 – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE P ( $SI>P$ ). 52
- FIGURA 41. INDICADOR DO POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO (IPEC) EM  $KG C KM^2DIA^{-1}$  DE OUTUBRO DE 2008 A FEVEREIRO DE 2009. ÍNDICE CALCULADO A PARTIR DOS FLUXOS MÉDIOS ANUAIS DE N TOTAL, P TOTAL E  $Si(OH)_4$ . EM RELAÇÃO AO N TOTAL, SE O IPEC>0 – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE N ( $SI>N$ ); EM RELAÇÃO AO P TOTAL, SE O IPEC>0 – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE P ( $SI>P$ ). 52
- FIGURA 42. RAZÕES N/P CALCULADAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES MOLARES ( $\mu MOL/L$ ) DE NID E PID EM CADA RIO. A LINHA VERMELHA INDICA QUAL NUTRIENTE É LIMITANTE (QUANDO  $N/P > 16$ , P É LIMITANTE; QUANDO  $N/P < 16$ , N É LIMITANTE). 53
- FIGURA 43. RAZÕES SI/N CALCULADAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES MOLARES ( $\mu MOL/L$ ) DE  $Si(OH)_4$  E NID EM CADA RIO. A LINHA VERMELHA INDICA QUAL NUTRIENTE É LIMITANTE (QUANDO  $SI/N > 1,25$ , N É LIMITANTE; QUANDO  $SI/N < 1,25$ , SI É LIMITANTE). 54

- FIGURA 44. RAZÕES SI/P CALCULADAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES MOLARES ( $\mu\text{MOL/L}$ ) DE  $\text{Si(OH)}_4$  E PID EM CADA RIO. A LINHA VERMELHA INDICA O NUTRIENTE LIMITANTE (QUANDO SI/P > 20, P É LIMITANTE; QUANDO SI/P < 20, SI É LIMITANTE).  
..... 54
- FIGURA 45. RAZÕES N/P CALCULADAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES MOLARES ( $\mu\text{MOL/L}$ ) DE NID E PID AO LONGO DO ANO. A LINHA VERMELHA INDICA O NUTRIENTE LIMITANTE (QUANDO N/P > 16, P É LIMITANTE; QUANDO N/P < 16, N É LIMITANTE). 55
- FIGURA 46. RAZÕES SI/N CALCULADAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES MOLARES ( $\mu\text{MOL/L}$ ) DE  $\text{Si(OH)}_4$  E NID AO LONGO DO ANO. A LINHA VERMELHA INDICA O NUTRIENTE LIMITANTE (QUANDO SI/N > 1,25, N É LIMITANTE; QUANDO SI/N < 1,25, SI É LIMITANTE)..... 56
- FIGURA 47. RAZÕES SI/P CALCULADAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES MOLARES ( $\mu\text{MOL/L}$ ) DE  $\text{Si(OH)}_4$  E PID AO LONGO DO ANO. A LINHA VERMELHA INDICA O NUTRIENTE LIMITANTE (QUANDO SI/P > 20, P É LIMITANTE; QUANDO SI/P < 20, SI É LIMITANTE).  
..... 56

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. ÁREAS DE DRENAGENS FLUVIAIS. * O RIO SERRA NEGRA APRESENTA UMA ÁREA DE DRENAGEM TOTAL DE 445 KM <sup>2</sup> , E CONSIDERANDO O LOCAL DE AMOSTRAGEM, A ÁREA DE DRENAGEM QUE ATINGE O LOCAL AMOSTRADO POSSUI SOMENTE ¼ DA ÁREA DE DRENAGEM TOTAL. ....	9
TABELA 2. ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO DE ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO E SEUS RESPECTIVOS MUNICÍPIOS.....	15
TABELA 3. VALORES MÉDIOS E DESVIOS PADRÕES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM CADA BAÍA NOS DIFERENTES PERÍODOS. CONCENTRAÇÕES EM MG/DM <sup>3</sup> . * INDICA DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ( $P < 0,05$ ). ....	19
TABELA 4. TESTE T DE <i>STUDENT</i> . SIGNIFICÂNCIA DAS DIFERENÇAS ENTRE OS DIFERENTES PERÍODOS (SECO/CHUVOSO) PARA CADA VARIÁVEL NOS RIOS INVESTIGADOS. SE $P > 0,1$ : <i>NÃO SIGNIFICATIVO (NS)</i> ; $P < 0,1$ E $> 0,05$ : <i>MARGINALMENTE SIGNIFICATIVO</i> ; $P < 0,05$ : <i>SIGNIFICATIVO</i> ; $P < 0,01$ : <i>MUITO SIGNIFICATIVO</i> . ....	19
TABELA 5. FLUXOS MÉDIOS E DESVIOS PADRÕES EM CADA BAÍA NOS DIFERENTES PERÍODOS (KG/DIA). FLUXOS DE MPS EXPRESSOS EM TON/DIA. * INDICA OS FLUXOS QUE DIFERENCIARAM SIGNIFICATIVAMENTE ENTRE OS EIXOS ( $P < 0,05$ ). ....	27
TABELA 6. FLUXOS MÉDIOS E DESVIOS PADRÕES EM CADA BAÍA NOS DIFERENTES PERÍODOS (KG KM <sup>2</sup> DIA <sup>-1</sup> ). * INDICA OS FLUXOS QUE DIFERENCIARAM SIGNIFICATIVAMENTE ENTRE OS EIXOS ( $P < 0,05$ ). ....	28
TABELA 7. TESTE T DE <i>STUDENT</i> .SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA DAS DIFERENÇAS ENTRE OS PERÍODOS (SECO/CHUVOSO) PARA OS FLUXOS DOS RIOS INVESTIGADOS (CALCULADOS A PARTIR DE VALORES EXPRESSOS EM KG/DIA) E VAZÃO (M <sup>3</sup> /S). SE $P > 0,1$ : <i>NÃO SIGNIFICATIVO (NS)</i> ; $P < 0,1$ E $> 0,05$ : <i>MARGINALMENTE SIGNIFICATIVO</i> ; $P < 0,05$ : <i>SIGNIFICATIVO</i> ; $P < 0,01$ : <i>MUITO SIGNIFICATIVO</i> . ....	28
TABELA 8. TESTE T DE <i>STUDENT</i> . SIGNIFICÂNCIAS DAS DIFERENÇAS ENTRE OS DIFERENTES PERÍODOS (SECO/CHUVOSO) PARA OS APORTES NOS RIOS INVESTIGADOS (CALCULADOS A PARTIR DE VALORES EXPRESSOS EM KG KM <sup>2</sup> DIA <sup>-1</sup> ). SE $P > 0,1$ : <i>NÃO SIGNIFICATIVO (NS)</i> ; $P < 0,1$ E $> 0,05$ : <i>MARGINALMENTE SIGNIFICATIVO</i> ; $P < 0,05$ : <i>SIGNIFICATIVO</i> ; $P < 0,01$ : <i>MUITO SIGNIFICATIVO</i> . ....	29
TABELA 9. VALORES MÉDIOS DE MPS E VAZÃO. CONCENTRAÇÃO (MG/DM <sup>3</sup> ), FLUXOS (KG KM <sup>2</sup> DIA <sup>-1</sup> E TON/DIA) E VAZÕES MÉDIAS (M <sup>3</sup> /S) NO RIO CACHOEIRA OBTIDOS NO PRESENTE TRABALHO E POR MANTOVANELLI (1999). ....	60
TABELA 10. APORTES DE NUTRIENTES EM DIFERENTES RIOS TROPICAIS DO MUNDO; RAZÕES MOLARES N:P:SI E O ÍNDICE DE POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA (IPEC). ADAPTADO DE (BILLEN & GARNIER, 2007). ....	66

## SÚMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>5</b>
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	5
3.2. PROCEDIMENTO AMOSTRAL.....	9
3.3. PROCEDIMENTO ANALÍTICO.....	10
3.3.1. MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS).....	10
3.3.2. NUTRIENTES.....	11
3.3.3. CLOROFILA-A.....	13
3.4. TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	14
3.5. TAXAS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA.....	15
3.6. DADOS DE VAZÃO.....	15
3.7. ÍNDICE DE POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA (IPEC).....	16
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>18</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS RIOS DA BACIA DE DRENAGEM DO CEP.....	18
4.1.1. TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	18
4.1.2. PRECIPITAÇÃO.....	20
4.1.3. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH).....	21
4.1.4. TEMPERATURA.....	23
4.1.5. MPS.....	24
4.1.6. CLOROFILA-A.....	25
4.1.7. NUTRIENTES.....	25
4.2. CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DOS APORTES FLUVIAIS DA BACIA DE DRENAGEM DO CEP.....	27
4.2.1. TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	27
4.2.2. VAZÃO.....	29
4.2.3. MPS.....	31

4.2.4. CLOROFILA-A.....	33
4.2.5. NUTRIENTES.....	36
4.3. ÍNDICE DE POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA (IPEC) .....	49
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
5.1. VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS, GEOMORFOLOGIA E POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH).....	57
5.2. FLUXOS DE MATERIAIS CONSERVATIVOS E NÃO CONSERVATIVOS .....	58
5.3. ÍNDICE DE POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA (IPEC) .....	69
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>72</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>81</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Durante a história do desenvolvimento da humanidade as atividades antrópicas têm causado fortes alterações na estrutura e funcionamento de seus ambientes. A revolução industrial demarcou o início da exploração desmedida dos recursos e da degradação ambiental. O crescimento populacional proporcionou demandas crescentes de ecossistemas aquáticos e terrestres, e grande parte da superfície terrestre foi alterada: mudamos drasticamente o globo por meio de desmatamentos, agricultura, urbanização, pecuária e alteramos ciclos hidrológicos. Além disso, as atividades humanas ocasionam profundos impactos nos ciclos biogeoquímicos globais de Carbono (C), Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Sílica (Si). Este desequilíbrio, quando ocorrido no balanço químico de massas dos sistemas fluviais litorâneos, é essencial para determinação dos possíveis problemas de eutrofização, uma das maiores ameaças às estruturas e funções dos ecossistemas costeiros.

No caso dos sistemas estuarinos, ecossistemas costeiros que correspondem à área de transição onde a água do escoamento continental é misturada com a água marinha, algumas funções como o armazenamento e ciclagem de nutrientes, e a produção da matéria orgânica podem sofrer alterações, e conseqüentemente comprometer o metabolismo destes ambientes (NICHOLS, 1986; DAY *et al.*, 1989). O estudo da dinâmica dos fluxos de nutrientes nos ecossistemas, também chamado ciclagem de nutrientes ou ciclagem mineral, é uma das principais formas de descrever a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, ajudando a esclarecer os elos de interdependência entre as formas de vida, e destas com o meio físico de suporte (MARQUES, 2004). O termo “nutriente” é uma denominação genérica dada a uma série de componentes químicos considerados essenciais para a composição e a manutenção das funções metabólicas dos seres vivos. O volume de nutrientes carregados para zonas costeiras através das bacias de drenagens, assim como o balanço entre estes elementos, são os principais determinantes dos problemas de eutrofização da costa marinha (BILLEN & GARNIER, 2007).

A dinâmica dos materiais no interior do estuário é regida pelo tempo de residência das massas d'água e pela variação nos processos físico-químicos e biológicos, que alteram a concentração, a natureza e o destino do material que



reage em função das mudanças abruptas de pH, turbidez, respiração e fotossíntese (CAMERON & PRITCHARD, 1965; BURTON & LISS, 1976; DYER, 1973; MORIS, 1985; DAY *et al.*, 1989; BERLISKI *et al.*, 2006). O aporte de nutrientes pode determinar efeitos profundos na qualidade das águas (CARPENTER *et al.*, 1998; CORRELL, 1998). Assim como uma adubação de culturas agrícolas ou florestais pode resultar em um crescimento acelerado das plantas, o efeito mais comum ocasionado pelo aumento de nutrientes sobre os ecossistemas aquáticos é percebido pelo o aumento na abundância de algas e plantas aquáticas. No entanto, as conseqüências ambientais causadas pelo enriquecimento excessivo de nutrientes são mais sérias e abrangentes do que somente o crescimento das plantas. A degradação dos recursos hídricos pela eutrofização pode resultar em perdas de suas composições de espécies permanentes, assim como as perdas de comodidades e serviços que este ambiente pode oferecer, dependendo da densidade populacional local e do uso da terra (POSTEL & CARPENTER, 1996; CARPENTER *et al.* 1998).

A manifestação dos problemas de eutrofização pode ser amplamente diversificada de acordo com as condições morfológicas e hidrológicas das áreas costeiras: Bloom de algas tóxicas, como na enseada do rio Sena (CUGIER *et al.*, 2005); desenvolvimento massivo de espécies de algas mucilaginosas como no Mar do Norte (LANCELOT *et al.*, 1987, 2005, 2007) Mar Negro (COCIASU *et al.*, 1996) e Mar Adriático (MARCHETTI, 1991); deposição de grandes quantidades de matéria orgânica resultando em águas anóxicas como no Golfo do México (TURNER & RABALAIS, 1994; RABALAIS *et al.*, 1996) e Baía de Chesapeake (OFFICER *et al.*, 1984). Mudanças profundas nas estruturas das cadeias tróficas são também freqüentemente observadas em estuários eutrofizados, com um declínio na pastagem de plâncton e na produção de peixes comerciais (TURNER *et al.*, 1998; ROUSSEAU *et al.*, 2000; DORTCH *et al.*, 2001).

As fontes externas de nutrientes aos ecossistemas aquáticos possuem uma ampla variedade de origem, incluindo o aporte de águas subterrâneas, fluviais e atmosféricas. A soma dessas três fontes pode ser denominada como a carga externa. As fontes externas de nutrientes para um corpo de água podem ter origem tanto em fontes pontuais, que são mais facilmente localizadas, monitoradas e controladas, como fontes difusas, difíceis de controlar e regulamentar. A contribuição relativa destes dois tipos de fontes pode diferenciar de uma bacia de drenagem para

outra, dependendo da densidade populacional e do uso e ocupação da terra. Alguns mecanismos que atuam como fontes de materiais para um sistema costeiro são: a) material alóctone proveniente da lixiviação na bacia de drenagem do sistema; b) material orgânico que é decomposto e carregado pelos rios; c) lançamento de efluentes domésticos e industriais que contribuem com grandes cargas de compostos; d) enriquecimento de nutrientes de origem marinha que penetram o estuário por meio de correntes que movimentam águas profundas; e) deposição atmosférica na interface ar-água.

A principal via de acesso de materiais para os sistemas costeiros são as bacias de drenagens. Os rios são os principais componentes das bacias de drenagens, e são caracterizados por serem cursos naturais de água doce, com canais definidos e fluxo permanente ou sazonal para um oceano, lago ou outro rio. Os rios possuem grande capacidade de erosão, transporte e deposição, sendo assim o principal agente de transformação da paisagem, modelando continuamente o relevo (TEIXEIRA *et al.*, 2000). A água que é deslocada ao longo da bacia de drenagem carrega consigo diversos constituintes particulados e dissolvidos suspensos na coluna d'água. A quantidade destes constituintes que são transportados em um rio depende das características e particularidades de sua bacia de drenagem, como a área e cobertura vegetal, topografia, constituintes mineralógicos e geológicos, uso e ocupação da terra (agricultura, urbanização, desmatamentos, rodovias) e o clima da região (MAIDMENT, 1992; TUCCI, 1993; LANE *et al.*, 1997).

As bacias de drenagem litorânea do estado do Paraná possuem um elevado potencial erosivo, por consequência da alta instabilidade natural dessas regiões de serras e morros, que apresentam declividades maiores que 45°, associada a um grande desnível entre o planalto e o nível do mar (ANGULO, 1992, OKA-FIORI e CANALI, 1998).

Uma vez que o Complexo Estuarino de Paranaguá recebe a drenagem de aproximadamente 70% da área da bacia hidrográfica litorânea do estado do Paraná (MANTOVANELLI, 1999), a determinação do aporte de nutrientes e do material particulado proveniente de fontes fluviais é de grande importância para a determinação da qualidade da água e de desequilíbrios ambientais neste sistema (NAGASHIMA *et al.*, 1996; LANE *et al.*, 1997; OKAWA *et al.*, 1997), além de gerar informações básicas para a elaboração de balanço de massas e para o

conhecimento da dinâmica biogeoquímica do estuário e, portanto, auxiliar a preparação dos planos de manejos e análises de suas conseqüências (van LEUSSEN & DRONKERS, 1988; MIRANDA, 1990).

O presente trabalho encontra-se inserido no Projeto DESPORT (CNPq/590006/2005-3), realizado através do convênio Brasil-Alemanha.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo geral do presente trabalho consiste em investigar em termos quantitativos a contribuição fluvial de nutrientes e material particulado ao longo de um ciclo anual para o Complexo Estuarino de Paranaguá.

Especificamente, objetivou-se:

- Avaliar a variabilidade sazonal e espacial dos aportes fluviais de nutrientes e de material particulado no Complexo Estuarino de Paranaguá;
- Estimar o potencial de eutrofização do sistema estuarino pelos aportes fluviais através das razões molares N:P:Si;
- Fornecer subsídios para a elaboração de balanços de massa de carbono, nitrogênio e fósforo no Complexo Estuarino de Paranaguá.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

O estado do Paraná é um estado de planaltos, contudo o estreito litoral e a serra do mar apresentam grande diversidade geomorfológica. A serra do mar no Paraná é composta por duas unidades geomorfológicas principais: as serras de borda de planalto e as serras residuais que sobressaem do nível do planalto várias centenas de metros.

A Planície Litorânea apresenta-se profundamente recortada pelos complexos estuarinos das baías de Paranaguá, Laranjeiras, Pinheiros e Guaratuba, resultando em numerosas ilhas.

A Serra do Mar atua como uma barreira natural aos ventos regulares do oceano que provém de sudeste. Estes ventos carregam bastante umidade, que por sua vez se condensam na vertente da serra, ocasionando chuvas orográficas nas encostas a leste da serra, onde são registrados os maiores índices de pluviosidade do estado do Paraná (MAACK, 2002; PAULA, 2005). A região está sob influência de ventos provenientes dos quadrantes leste e sudeste, com velocidade média de  $4,0 \text{ m.s}^{-1}$  (BRANDINI, 2000) e a umidade relativa do ar é de 85% (LANA *et al*, 2000). O litoral paranaense apresenta taxas anuais de precipitação elevada, superando 2000 mm. Contudo, taxas pluviométricas anuais observadas na vertente leste da Serra do Mar superam 3500 mm, sendo considerada uma das mais expressivas do país. Os índices pluviométricos são fortemente condicionados às variações sazonais nesta região, sendo que durante o período de verão ocorrem cerca de 40 % do total anual pluviométrico (PAULA & CUNICO, 2007).

Segundo KOEPPEN o clima é classificado como Cfa, Chuvoso tropical sempre úmido onde “C” corresponde ao clima pluvial tropical, “f” ao clima sempre úmido, com chuvas em todos os meses do ano, e “a” à temperatura média do ar do mês mais quente acima de  $22^{\circ}\text{C}$  (PAULA & CUNICO, 2007). Na planície a temperatura média é de  $21,1^{\circ}\text{C}$ , enquanto que sobre a Serra do Mar a temperatura média anual registrada é de  $14^{\circ}\text{C}$ , sendo encontradas mínimas de até  $7^{\circ}\text{C}$  (PAULA & CUNICO, 2007).

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) localiza-se na porção centro-norte do litoral paranaense, compreendendo uma área superficial aproximada de  $612 \text{ km}^2$  e volume da ordem de  $2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ . Possui dois eixos principais: a) Baía das Laranjeiras (NNE-SSW), sendo esta uma área com menor ocupação urbana e menor impacto e, b) Baía de Paranaguá e Antonina (E-W), onde são desenvolvidas atividades de lazer, pesca artesanal e portuária.

A conexão deste sistema com o oceano se processa através dos canais da Galheta, Norte e de Superagüi. Caracteriza-se geomorfologicamente como um estuário de planície costeira, ocorrendo deltas de maré em sua desembocadura (ANGULO, 1995).

O CEP encontra-se circundado por planícies marginais (altitudes de 0 a 100 m), interrompidas por morros cristalinos (100 a > 500 m), e escarpas abruptas subseqüentes da Serra do Mar, com altitudes superiores a 1000 m, que separam a região litorânea do Primeiro Planalto Paranaense (ANGULO, 1992; LICHT *et al.*, 1997). Esta região costeira é composta basicamente por rochas arqueanas e proterozóicas (granulitos, migmatitos, gnaisses, xistos magnesianos, formações ferríferas) e por depósitos holocênicos de origem marinha e fluvial (LICHT *et al.*, 1997). Na região costeira do estado do Paraná, encontra-se a maior área de mata nativa do Estado e uma das áreas mais preservadas da Mata Atlântica do Brasil (IPARDES, 1989; LIMA *et al.*, 1998). Encontram-se ainda extensas áreas de manguezais nas várzeas dos canais de maré que circundam o estuário. Estes ambientes apresentam diversas áreas protegidas por lei, como: o Parque do Marumbi, a Estação Ecológica de Guaraqueçaba, a Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba (*Reserva da Biosfera*), o Parque Nacional de Superagüi (*Preservação Permanente*) e a área de interesse ecológico das Ilhas de Pinheiros e Pinheirinho (BLANKENSTEYN *et al.*, 1995).

Andriguetto (1995) realizou um levantamento com base em imagens de satélite de 1990, e mostrou que as regiões mais preservadas situam-se nas bacias de drenagem das baías de Pinheiros, Laranjeiras e Guaraqueçaba, onde a cobertura vegetal preenche de 75 a 97,6% da área total, excetuando-se as bacias dos rios Guaraqueçaba e Tagaçaba, onde o percentual de desflorestamento é maior (entre 25 e 50%). Para a bacia de drenagem das baías de Antonina e Paranaguá o desflorestamento situa-se entre 25 e 50%, com exceções feitas à margem norte da baía (bacias do Amparo e do Faisqueira) onde a cobertura vegetal é alta (> 75%) e

para a bacia do rio Sagrado, onde o percentual de desflorestamento é elevado (entre 50 e 73,6%). A atividade agrícola é pouco expressiva na região, com menos de 4,2% da área da bacia litorânea cultivada (IPARDES, 1989) e a agropastoril moderada, com densidade inferior a 200 cabeças km<sup>-2</sup> na maior parte da região (ANDRIGUETTO, 1995).

A qualidade das águas de alguns dos principais rios da bacia de drenagem do Complexo Estuarino de Paranaguá (Cachoeira, Nhundiaquara, Nunes, Tagaçaba e Guaraqueçaba) foi classificada como boa à ótima, porém com níveis aceitáveis a ruim de coliformes fecais (análises efetuadas em 1986; IPARDES, 1989). A região do Complexo Estuarino de Paranaguá foi considerada uma área levemente degradada, mas que ainda mantém latente seu ecossistema natural (INPE, 1993 *apud* MARTINS, 1994).

A bacia hidrográfica litorânea contempla os municípios de Antonina, Guaraqueçaba, Guaratuba, Matinhos, Morretes, Paranaguá e Pontal do Paraná. Ainda fazem parte da bacia litorânea parte dos municípios de São José dos Pinhais, Tijucas do Sul e Quatro Barras. Possui um elevado potencial erosivo, decorrente da alta instabilidade natural dessas regiões de serras e morros, devido à acentuada declividade (maior que 45°), associada ao grande desnível entre o planalto e o nível do mar (ANGULO, 1992, OKA-FIORI e CANALI, 1998).

Nas Baías de Paranaguá e Antonina deságuam os rios Cachoeira, Cacatu, Faisqueira, Nhundiaquara, Guaraguaçu e Sagrado, além de outros, que no presente trabalho, não foram abordados. Já na Baía das Laranjeiras localiza-se a Enseada de Itaquí, onde desembocam os rios Guaraqueçaba, Serra Negra e Tagaçaba (FIGURA. 1).



FIGURA 1. COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ E SUAS BACIAS DE DRENAGEM. OS RIOS APRESENTADOS NA FIGURA SÃO OS RIOS INVESTIGADOS, E OS PONTOS REPRESENTAM OS LOCAIS AMOSTRADOS. FONTE: LABORATÓRIO DE FÍSICA MARINHA, CEM, UFPR.

O rio Cachoeira é caracterizado como a maior fonte de água doce e de *MPS* para o estuário, especialmente no período de inverno. Este rio sofreu uma transposição do rio Capivari, bacia do Ribeira do Iguape, para suas águas, resultando na formação da represa Capivari-Cachoeira, localizada no alto da Serra do Mar, onde cerca de 900 m<sup>3</sup> de água chegam ao sopé da Serra por tubulações subterrâneas (15,4 Km de tubos que atravessam a Serra do Mar) e são turbinadas através da Usina Hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza, situada no município de Antonina. Esta transposição fez com que o volume de água do rio cachoeira dobrasse, atenuando assim o transporte de materiais carregados por este rio. Segundo Mantovanelli (1999) nos anos de 1997 e 1998 o rio Cachoeira e o rio Nhundiaquara somaram 82% do aporte total de água doce no sistema estuarino, sendo que o rio Cachoeira contribuiu com 88% da carga de *MPS*.

O rio Nhundiaquara, diferentemente dos demais, possui em seu curso elevada ocupação urbana, recorrente do município de Morretes. Este município

possui cerca de 16 mil habitantes, que, em grande parte, localiza-se nas proximidades da margem do rio Nhundiaquara, e contribui consideravelmente no despejo de efluentes domésticos, o que caracteriza este rio como o mais susceptível a influências antrópicas. As áreas de drenagens de cada rio abordado no presente trabalho encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1. ÁREAS DE DRENAGENS FLUVIAIS. \* O RIO SERRA NEGRA APRESENTA UMA ÁREA DE DRENAGEM TOTAL DE 445 KM<sup>2</sup>, E CONSIDERANDO O LOCAL DE AMOSTRAGEM, A ÁREA DE DRENAGEM QUE ATINGE O LOCAL AMOSTRADO POSSUI SOMENTE ¼ DA ÁREA DE DRENAGEM TOTAL.

Rios	Área de drenagem (Km <sup>2</sup> )
Guaraguaçu	259
Sagrado	115
Nhundiaquara	217
Cacatú	125
Cachoeira	369
Faisqueira	123
Tagaçaba	88
Serra negra	111,25*
Guaraqueçaba	72

### 3.2. PROCEDIMENTO AMOSTRAL

Os pontos de coleta foram distribuídos ao longo das bacias que drenam as baías de Laranjeiras, Paranaguá e Antonina. Para melhor caracterizar a contribuição do aporte fluvial de nutrientes e material particulado foram escolhidos os rios que possuem maiores vazões, e para verificar possíveis variações sazonais foram efetuadas amostragens mensais em onze pontos, durante o período de um ano. As amostragens foram realizadas nos rios Guaraguaçu, Sambaqui, Sagrado, Nhundiaquara, Cacatú, Cachoeira, Faisqueira, Cedro, Tagaçaba, Serra Negra e Guaraqueçaba, sendo esses os principais rios que compõem as bacias de drenagens do CEP.

O deslocamento até os pontos de coletas de cada rio foi feito por vias terrestres, com a utilização de um automóvel. O período amostral compreende o período de março de 2008 a fevereiro de 2009, sendo as coletas realizadas à



montante dos rios, onde se encontram valores de salinidade muito próximos a zero, ou seja, as amostras representam o aporte fluvial sem a influência da salinidade.

Durante o procedimento amostral, a salinidade, temperatura e o pH foram medidos em cada rio com o auxílio de uma sonda multi-parâmetro da marca YSI (FIGURA 2).

As amostras de água foram coletadas com o auxílio de um balde, sendo posteriormente colocadas em garrafas de polietileno previamente lavadas com água destilada e secadas em estufa por pelo menos 3 horas (FIGURA 2). Estas amostras foram mantidas em isopor com gelo e posteriormente levadas ao laboratório, onde foram filtradas para a determinação das concentrações de material particulado em suspensão (MPS); clorofila-*a* e nutrientes inorgânicos dissolvidos, tais como fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), silicato ( $\text{Si(OH)}_4$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), seguindo metodologias padrões descritas abaixo.

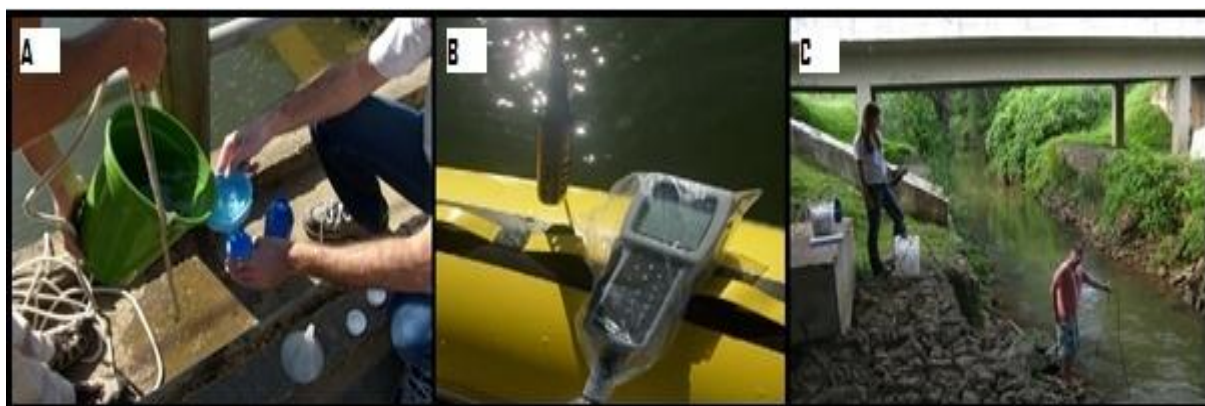


FIGURA 2. A) COLETA DE ÁGUA COM BALDE E ARMAZENAMENTO DA AMOSTRA EM GARRAFA DE PVC; B) MULTISONDA YSI; C) UTILIZAÇÃO DA MULTI-SONDA YSI

### 3.3. PROCEDIMENTO ANALÍTICO

#### 3.3.1. MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)

O método analítico utilizado foi o método gravimétrico descrito por Strickland & Parsons (1972). Primeiramente, foi realizado o tratamento preliminar dos filtros

(Schleicher & Schuell GF/C 52-C com porosidade de  $0,45 \pm 0,5\text{mm}$  e diâmetro de 47 mm), no qual os mesmos foram previamente calcinados em mufla a  $450^{\circ}\text{C}$  por aproximadamente três horas, lavados com água deionizada e secados em estufa a  $65^{\circ}\text{C}$  por duas horas. Posteriormente, foram colocados em um recipiente dessecador com tampa hermética contendo sílica gel desidratada e mantidos por pelo menos duas horas antes da pesagem dos filtros limpos. Após o tratamento prévio e a pesagem dos filtros limpos, um volume conhecido de amostra de água coletada (entre 300 a 600 ml) foi filtrado, e os mesmos processos de secagem em estufa e resfriamento em dessecador foram repetidos até o momento da pesagem com o filtro cheio. A pesagem dos filtros foi realizada com uma balança de precisão de cinco casas decimais da marca Mettler H5 1AR.

A determinação da quantidade de *MPS* presente no volume de água filtrada (mg/L) é obtida através da diferença entre o peso do filtro com o conteúdo da amostra pelo peso do filtro limpo, em relação ao volume filtrado.

### **3.3.2. NUTRIENTES**

As determinações dos nutrientes dissolvidos foram realizadas em amostras de água filtradas para o *MPS*, que foram acondicionadas em frascos de polietileno de 250 mL previamente lavados.

Os processos analíticos seguiram as metodologias descritas por Grasshoff *et al.* (1983).

Para a leitura dos nutrientes dissolvidos (nitrito, nitrato, amônio, fosfato e silicato) foi utilizado o espectrofotômetro UV-1601, Shimadzu.

#### **3.3.2.1. Nitrito**

Para determinação de nitrito utilizou-se 15 mL de amostra homogeneizada em recipientes plásticos previamente identificados, lavados e secos. Adicionou-se 0,3 ml do reagente sulfanilamida e em seguida 0,3 ml de NED (n-(1-Naftil) Etilenodiamino Bicloridrato). Após a adição de cada reagente, as amostras foram homogeneizadas.

Em seguida, um período mínimo de 15 minutos é necessário para que ocorra a reação, e dentro de no máximo 1 hora após a adição dos reagentes as amostras foram lidas no espectrofotômetro em um comprimento de onda de 540 nm.

#### **3.3.2.2. *Nitrato***

As concentrações de nitrato foram determinadas utilizando 25 mL de amostra filtrada misturadas a 25 mL do reagente tampão Cloreto de Amônio, que minimiza possíveis problemas que podem ocorrer com os diferentes valores de pHs encontrados nas amostras. Essa mistura foi passada em uma coluna de grânulos de Cádmio envoltos num manto de íons de cobre (Cádmio cuperizado) em um fluxo médio de 5 mL a cada 36 – 60 segundos, reduzindo o nitrato contido na amostra em nitrito. Após este processo, 15 mL de amostra já reduzida foi reservada para leitura no espectrofotômetro, onde foi tratada como nitrito. Posteriormente, a concentração de nitrito inicial presente na amostra foi descontada, determinando então a concentração de nitrato.

#### **3.3.2.3. *Nitrogênio amoniacal***

Para a determinação do nitrogênio amoniacal (amônio) foram utilizados frascos de vidros previamente lavados com água recém destilada e depois com a própria amostra. Posteriormente, foram colocadas alíquotas de 25 mL de amostra por frasco, e foi adicionado 1 ml de fenol, 0,5 ml de citrato e 1 ml de DTT (ácido diclorocianúrico) e homogeneizou-se. As amostras permaneceram no escuro por no mínimo 6 horas e no máximo 30 horas, e após esse período, a leitura no espectrofotômetro foi feita em um comprimento de onda de 630 nm.

#### **3.3.2.4. Fosfato**

Para a determinação da concentração de fosfato 15 ml de amostra de água foram homogeneizadas e colocadas em tubos de ensaio. Adicionou-se 0,3 ml de ácido ascórbico para fosfato e 0,3 ml de reagente mistura para fosfato (mistura obtida através de heptamolibdato de amônio tetrahidratado, tartarato de antimônio de potássio e ácido sulfúrico 4,5 M), e logo em seguida homogenizou-se. As leituras das amostras foram feitas no espectrofotômetro, utilizando o comprimento de onda de 880nm, em um intervalo máximo de 10-15 minutos, devido à influência do silicato na vidraria.

#### **3.3.2.5. Silicato**

Para a determinação da concentração do silicato foi utilizado 10 ml de amostra, que foram colocadas em frascos plásticos para que não ocorresse interferência da sílica do vidro do tubo de ensaio. Nelas, adicionou-se 0,4 ml de reagente mistura para silicato (heptamolibdato de amônio tetrahidratado adicionado a solução de ácido sulfúrico 4,5 M). A mistura foi homogeneizada e após 20 minutos adicionou-se 0,4 ml de ácido oxálico para silicato (homogeneizou-se), seguido de 0,2 ml de ácido ascórbico para silicato (novamente homogeneizou-se). Após 20 minutos foi realizada a leitura no espectrofotômetro em um comprimento de onda de 810 nm.

#### **3.3.3. CLOROFILA-a**

Para a determinação da concentração de Clorofila-a foram filtrados 100 mL de água de cada amostra em filtros Schleicher & Schuell GF/C 52-C ( $47 \pm 0,5$ mm). Após este procedimento os filtros foram acondicionados dobrados e colocados em envelopes de alumínio previamente identificados e congelados até o momento da análise. Para a determinação das concentrações os filtros foram colocados em tubos

de ensaio, em local devidamente protegido contra a luz. Foram adicionados a eles, 10 ml de acetona 90% e em seguida colocados na centrífuga de laboratório da marca FANEM por 10 minutos, a uma velocidade de 2500 rpm. Posteriormente, as amostras foram levadas à geladeira por um mínimo de 20 horas e após esse período analisadas pelo método fluorimétrico (PARSONS *et al.*, 1984), com um fluorômetro Turner Designs, modelo AU-10 calibrado de acordo com Arar & Collins (1992).

### 3.4. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Calcularam-se primeiramente as médias e desvios padrões de todas as variáveis investigadas, em três níveis de organização: 1) considerando todos os rios por período e por eixo, 2) mensal para todos os rios investigados (CEP) e 3) sazonal por rio para cada eixo. Assim, todas as concentrações e fluxos reportados referem-se a **valores médios** calculados seguindo a ordenação mencionada.

Para averiguar as possíveis diferenças entre os diferentes eixos (Baía de Paranaguá e Baía das Laranjeiras) e entre os períodos (seco/chuvoso) nas variáveis físico-químicas e nos fluxos foram realizados testes t de Student através do software Excel 2007. As diferenças foram consideradas significativas quando  $p < 0,05$ . Os testes foram feitos a partir dos valores médios mensais obtidos ao longo de um ano em todos os rios investigados. Uma vez que foram investigados um número diferentes de rios ( $n$  amostral) em cada Baía (seis na B. Paranaguá e três na B. Laranjeiras), os testes realizados para verificação das diferenças espaciais exigiram testes prévios de homogeneidade das variâncias nas médias dos dois eixos através do teste F. Quando as variâncias foram equivalentes ( $p > 0,05$ ), foi realizado o teste t de Student homocedástico, e quando as variâncias foram diferentes ( $p < 0,05$ ), foi aplicado o teste heterocedástico. Para a determinação da variação temporal (período seco/chuvoso) não foi necessário realizar o teste de homogeneidade das variâncias, pois o número amostral foi o mesmo (6 meses cada período) tornando-se desnecessário este tipo de procedimento (SOKAL & ROHLF, 1995).

### 3.5. TAXAS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA

Os valores de precipitação acumulada na região dos rios amostrados foram gentilmente cedidos pela Superintendência de Desenvolvimento de recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA). As estações de medição e seus respectivos municípios são apresentados na tabela 2.

TABELA 2. ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO DE ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO E SEUS RESPECTIVOS MUNICÍPIOS.

MUNICÍPIO	ESTAÇÃO DE MEDIÇÃO
ANTONINA	ANTONINA
	COLÔNIA CACHOEIRA
MORRETES	MORRETES
	SÃO JOÃO DA GRACIOSA
	MARUMBI
GUARAQUEÇABA	RIO GUARAQUEÇABA
	BANANAL
	GUARAQUEÇABA -
	COSTÃO
	PASSO DO VAU -
PONTAL DO PARANÁ	TAGAÇABA
	IPANEMA
PARANAGUÁ	COLÔNIA SANTA CRUZ

### 3.6. DADOS DE VAZÃO

Os dados de vazão dos rios foram obtidos através de um relatório técnico elaborado pela empresa *RHA Engenharia e Consultoria Ltda* (2008). Os resultados apresentados foram estimados com base nos valores obtidos do banco de dados (HIDROWEB) DA ANA – Agência Nacional de Águas e de dados coletados junto à SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

As estimativas das vazões específicas para as áreas desprovidas de informações fluviométricas foram realizadas por comparações com áreas mais

próximas. Levando em consideração a área do rio referência (o mais próximo ao rio a ser calculado), sua vazão específica (Relatório técnico RHA Engenharia e Consultoria Ltda. 2008), a área e a vazão específica do rio desejado. A seguinte equação foi utilizada:

$$Q = Q_{mr} * Q_{ml\_e} / Q_{mlr\_m} \quad (1)$$

Onde:

**Q** é a vazão que está sendo calculada para o rio que não tem medições,

**Q<sub>mr</sub>** é a vazão medida para o rio de referência,

**Q<sub>mlr\_e</sub>** é a razão da área pela vazão específica para o rio que está sendo estimado,

**Q<sub>mlr\_m</sub>** é a mesma razão para o rio referência.

Os dados foram obtidos em vazões diárias em  $m^3s^{-1}$ , e para estimar os valores de vazões mensais foram calculadas médias mensais de vazão para cada mês em cada rio. A partir desses valores os fluxos mensais e anuais do aporte de MPS, Clorofila *a*, e nutrientes inorgânicos dissolvidos foram calculados.

### 3.7. ÍNDICE DE POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA (IPEC)

Como contribuição às razões *N:P:Si* investigadas no presente estudo, foi utilizado um índice de potencial de eutrofização (IPEC) do aporte fluvial de nutrientes (proposto por Billen & Garnier (2007)), o qual permite estimar a biomassa de carbono potencialmente produzida no corpo de água costeiro baseado no aporte de *P* e *N* que chega ao ambiente costeiro em relação à Sílica. Este indicador expressa, portanto, o potencial de produção nova de algas não silicosas através do aporte fluvial de nutrientes. No presente trabalho, com o intuito de estimar a taxa de produção primária estuarina, foi utilizado a quantidade de carbono por dia, e com o

propósito de comparação entre rios, optou-se pela quantidade de carbono por dia integrada à área da bacia de drenagem, expressa em  $Kg\ C\ Km^{-2}Dia^{-1}$ . O *IPEC* pode ser calculado através das seguintes relações (baseadas nas razões molares de Redfield – C:N:P:Si ; 106:16:1:20):

$$IPEC = (NFlx/(14 * 16) - SiFlx/(28 * 20)) * 106 * 12 \quad (2)$$

$$IPEC = (PFlx/31 - SiFlx/(28 * 20)) * 106 * 12 \quad (3)$$

Onde *PFlx*, *NFlx* e *SiFlx* são respectivamente as médias específicas dos fluxos de N total ou NID, P total ou PID e Si dissolvida na desembocadura da bacia de drenagem expressadas em  $Kg\ P\ km^{-2}\ Dia^{-1}$ ,  $Kg\ N\ Km^{-2}\ Dia^{-1}$  e  $Kg\ Si\ Km^{-2}\ Dia^{-1}$ .

O valor negativo de *IPEC* indica que a Si se encontra em excesso em relação ao N e o P e, portanto, caracteriza a ausência de possíveis problemas com eutrofização. Valores positivos indicam um excesso de N e P com relação ao potencial de crescimento de diatomáceas, portanto, expressam condições favoráveis ao desenvolvimento de algas não silicosas, caracterizando possíveis problemas de eutrofização. O *IPEC* não leva em consideração características particulares (clima, hidrologia, etc.) que podem influenciar as respostas que um rio pode provocar na zona costeira, considera somente o potencial de impacto dos fluxos fluviais através da razão molar entre os nutrientes (N:P:Si).

O período de tempo em que este indicador deve ser calculado é, no entanto bastante discutido. De acordo com o tempo de residência das massas de água doce no interior da zona costeira e a área superficial da zona impactada, o *IPEC* deveria ser calculado diariamente, mensalmente ou ainda anualmente. No presente trabalho o *ICEP* foi calculado com valores médios anuais e mensais de fluxos de N e P para todos os rios abordados.



## **4. RESULTADOS**

### **4.1. CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS RIOS DA BACIA DE DRENAGEM DO CEP**

Nesta seção, são apresentados os resultados mais relevantes no que tange à variação espacial (eixos Leste-Oeste e Norte-Sul) e sazonal (períodos seco/chuvoso) das variáveis físico-químicas investigadas. A variação sazonal de MPS, Clorofila-a e nutrientes inorgânicos dissolvidos para cada rio, dentro de cada eixo, são apresentadas nos Anexos 1 a 8. Descrições mais detalhadas do comportamento da precipitação, pH e temperatura, são fornecidas nas seções 4.1.2, 4.1.3 e 4.1.4, respectivamente.

#### **4.1.1. TRATAMENTO ESTATÍSTICO**

As propriedades físico-químicas foram submetidas à testes estatísticos para verificar as possíveis diferenças entre os períodos (seco/chuvoso) e entre os eixos (Baía de Paranaguá e Laranjeiras). A variação espacial foi observada somente no teor de NID, sendo esta diferença significativa ( $p=0,02$ ). Os demais parâmetros não apresentaram diferenças significativas entre eixos (Tabela 3).



#### 4.1.2. PRECIPITAÇÃO

As taxas de precipitação possibilitaram visualizar o padrão pluviométrico anual no período de amostragem, e determinar os diferentes períodos (seco/chuvoso) na região estudada. Com os períodos determinados (meses de período seco e meses de período chuvoso) foi organizada a estrutura do presente trabalho, pois as diferenças entre períodos (seco/chuvoso) possibilitaram identificar as variações em escalas temporais ocasionadas pela quantidade de chuva acumulada ao longo dos meses.

O período de menor quantidade de precipitação acumulada (período seco) compreendeu os meses de abril a setembro de 2008, enquanto que o período de maior quantidade de precipitação (chuvoso) estendeu-se de outubro de 2008 a fevereiro de 2009, incluindo o mês de março de 2008 (FIGURA 3). O mês de maior precipitação pluviométrica foi novembro, atingindo o valor médio mensal de 399,5 *mm*. Em contraste, o mês de menor contribuição pluvial foi o mês de julho, com a média mensal de apenas 22,9 *mm* (FIGURA 3).

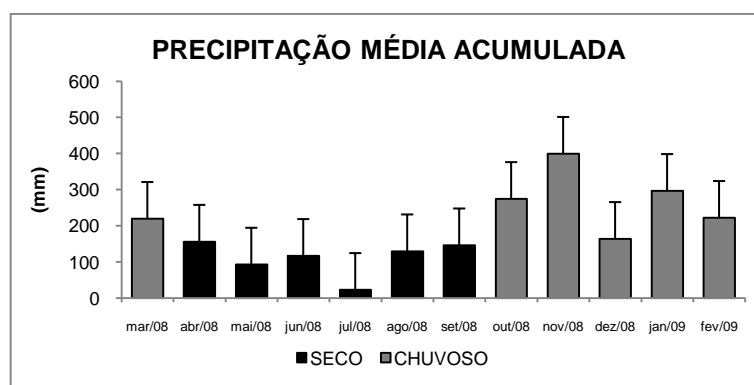


FIGURA 3. MÉDIAS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA. ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO: RIO GUARAQUEÇABA, BANANAL, COSTÃO E PASSO DO VAU (MUNICÍPIO DE GUARAQUEÇABA); ANTONINA E COLÔNIA CACHOEIRA (MUNICÍPIO DE ANTONINA); MORRETES E SÃO JOÃO DA GRACIOSA (MORRETES); IPANEMA (PONTAL DO PARANÁ); COLÔNIA SANTA CRUZ (PARANAGUÁ). FONTE: SUDERHSA.

Em um contexto espacial, as taxas pluviométricas observadas indicam que na porção continental em que se encontra a Baía de Paranaguá a precipitação é maior durante metade do ano observado (março, abril, agosto, outubro e novembro de

2008 e janeiro de 2010). Já na Baía das Laranjeiras a precipitação foi maior nos meses de maio, junho, julho, setembro e dezembro 2008 e fevereiro de 2009 (FIGURA 4). Contudo, de uma maneira geral, a Baía de Paranaguá apresenta valores mais expressivos de precipitação, atingindo a média mensal de 444,77 mm no mês de novembro, enquanto que na Baía das Laranjeiras esta variável alcançou 313, 37 mm no mês de fevereiro. Os menores valores, no entanto, foram encontrados na Baía de Paranaguá, com apenas 20,17 mm de chuva no mês de julho, enquanto que o menor valor encontrado para a Baía das Laranjeiras foi de 27,7 mm no mesmo mês (FIGURA 4).

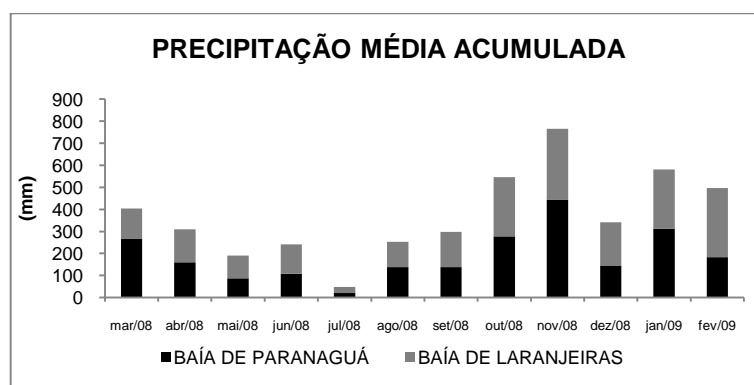


FIGURA 4. MÉDIAS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA. CONTRIBUIÇÃO PLUVIAL NA BAÍA DE PARANAGUÁ E NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. FONTE: SUDERHSA.

#### 4.1.3. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

Os valores de pH não apresentaram variações temporais significativas, exibindo valores um pouco menores nos meses do período chuvoso, com uma média de 6,59 na Baía de Paranaguá. Em contra partida, os maiores valores de pH foram encontrados no período seco, com um valor médio de 7,2 na baía de Paranaguá (Tabela 3).

Ao longo do ciclo anual, considerando todo o CEP, o menor valor de pH, de 6,02, foi registrado no mês de março de 2008. O maior valor de pH foi obtido no mês de junho, de 7,49 (FIGURA 5).

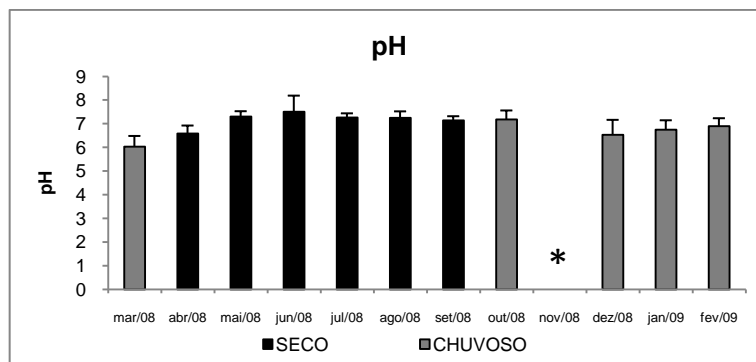


FIGURA 5. VALORES MÉDIOS MENSAIS DE PH EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. \* OS VALORES DE PH NÃO FORAM OBTIDOS NO MÊS DE NOVEMBRO DE 2008 DEVIDO AO MAL FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO (MULTISONDA YSI) DURANTE A COLETA DE DADOS.

Os dois eixos exibiram poucas diferenças nos valores de pH, exibindo o mesmo padrão temporal com valores mais elevados no período seco, para todos os rios investigados, onde para cada rio, o período seco foi onde os maiores valores de pH foram encontrados. O rio que apresentou maior diferença entre período seco e chuvoso foi o rio Guaraguaçu, que exibiu o mais baixo valor de pH, com apenas 5,77 no período chuvoso. O maior valor encontrado de pH foi o do rio Faisqueira, com 7,39 no período seco (FIGURA 6).

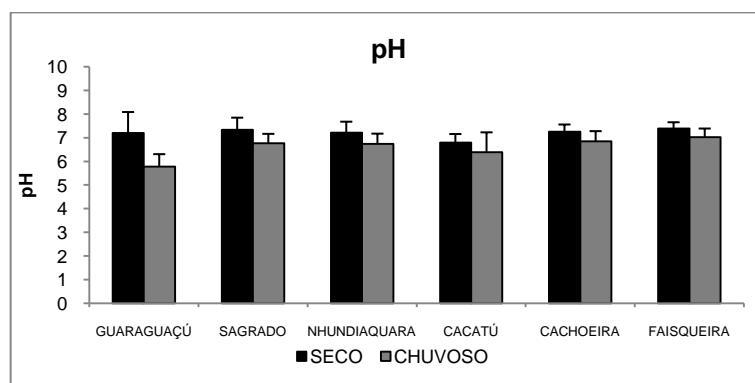


FIGURA 6. VALORES MÉDIOS DE PH NOS RIOS DA BAÍA DE PARANAGUÁ

Os três rios que deságuam na Baía das laranjeiras apresentaram padrões temporais muito similares, com um aumento no período seco em relação ao período chuvoso (FIGURA 7).

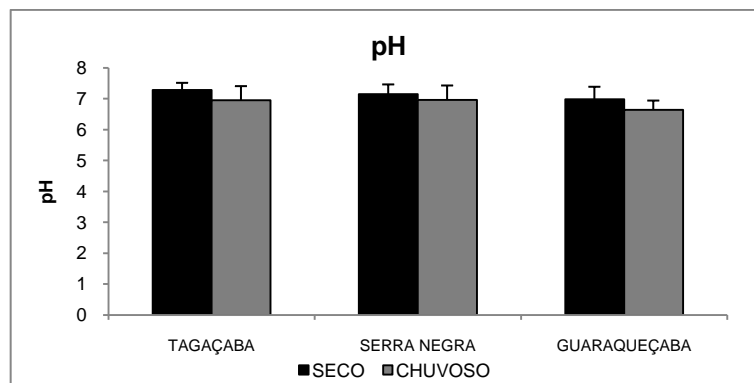


FIGURA 7. VALORES MÉDIOS DE PH NOS RIOS DA BAÍA DAS LARANJEIRAS

#### 4.1.4. TEMPERATURA

As temperaturas médias mensais seguiram um padrão definido, acompanhando as mudanças sazonais das temperaturas do ar, sendo que os meses do período chuvoso (primavera e verão) foram os mais quentes, e os meses do período seco (inverno e outono) foram os meses com menores temperaturas médias (Tabela 3).

Os valores mais baixos foram registrados no mês de maio de 2008, atingindo um valor de 17,85°C, sendo que o rio Faisqueira apresentou o menor valor de 18,39°C durante o período seco (FIGURA 8 e 9). As maiores temperaturas foram encontradas no mês de fevereiro de 2009, com um valor de 24,13°C, sendo o Guaraguaçu o rio que exibiu o maior valor, atingindo média de 23,5°C no período chuvoso (FIGURA 8 e 9).

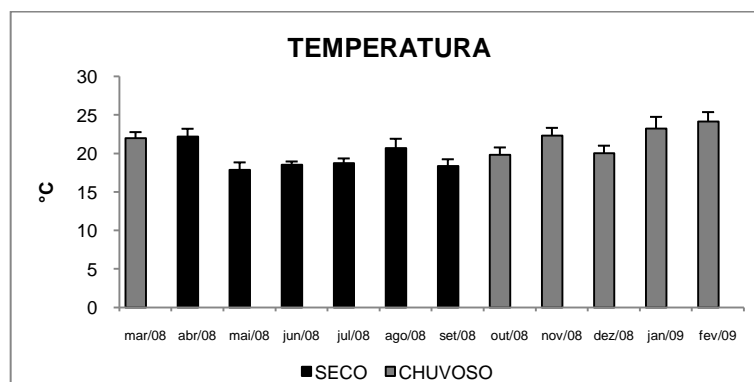


FIGURA 8. VALORES MÉDIOS MENSAIS DE TEMPERATURA EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS.

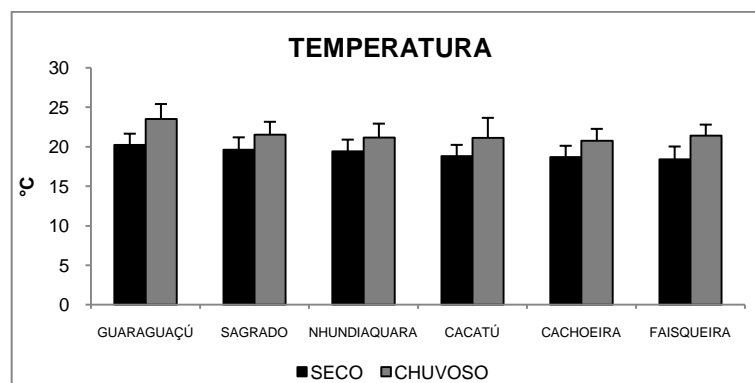


FIGURA 9. VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURA NOS RIOS DA BAÍA DE PARANAGUÁ.

Como podem ser verificados na figura 12, os rios da Baía das Laranjeiras apresentaram temperaturas muito similares, variando de 19,33°C no rio Serra Negra no período seco a 22,75°C no rio Tagaçaba no período chuvoso (FIGURA 10).

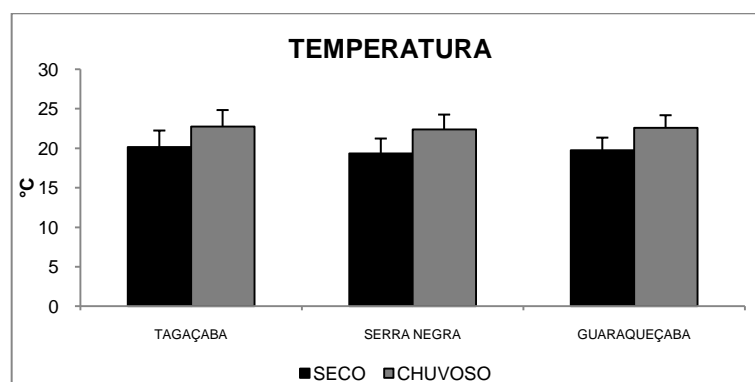


FIGURA 10. VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURA NOS RIOS DA BAÍA DE LARANJEIRAS.

#### 4.1.5. MPS

A concentração de MPS nos rios variou consideravelmente entre os dois períodos (seco/chuvoso), sendo superior no período chuvoso. De uma maneira geral, as concentrações nos rios da Baía das Laranjeiras foram maiores em relação à baía de Paranaguá em ambos os períodos, atingindo uma média de 8,12  $mg/dm^3$

no período chuvoso. Na baía de Paranaguá, a menor média de concentração foi  $4,16 \text{ mg/dm}^3$  durante o período seco (Tabela 3).

#### 4.1.6. CLOROFILA-*a*

As concentrações de Clorofila-*a* apresentaram um padrão inverso ao das variações de precipitação, temperatura e concentração de MPS, apresentando valores elevados no período seco e valores mais baixos no período chuvoso. A menor concentração encontrada foi no período chuvoso na baía de Paranaguá,  $0,97 \text{ mg/dm}^3$ . Em contraste, o maior teor de Clorofila-*a*, de  $3,05 \text{ mg/dm}^3$ , foi observada durante o período seco, também na Baía de Paranaguá (Tabela 3).

#### 4.1.7. NUTRIENTES

##### - Nitrito

As concentrações de nitrito não exibiram grandes variações entre os dois períodos para cada eixo individualmente, porém diferenças relevantes foram observadas entre os mesmos (Tabela 3). As concentrações médias máximas foram iguais em ambos os períodos na baía de Paranaguá ( $0,0028 \text{ mg/dm}^3$ ) e foram inferiores na Baía das Laranjeiras, com um mínimo de  $0,0017 \text{ mg/dm}^3$  no período seco e  $0,0018 \text{ mg/dm}^3$  no período chuvoso.

##### - Nitrato

Para o nitrato não foram detectadas grandes diferenças entre os dois eixos, porém foram verificadas diferenças temporais acentuadas, com concentrações mais elevadas no período seco, com um máximo de  $0,14 \text{ mg/dm}^3$  na Baía de Paranaguá,



e menores no período chuvoso, com um mínimo de  $0,06 \text{ mg/dm}^3$  na Baía das Laranjeiras (Tabela 3).

- *Nitrogênio Amoniacal (Amônio)*

As concentrações médias de amônio exibiram diferenças temporais, sendo superiores no período seco e inferiores no período chuvoso em ambos os eixos (Paranaguá e Laranjeiras). O maior teor encontrado de  $0,04 \text{ mg/dm}^3$  ocorreu na Baía da Paranaguá no período seco. A menor concentração de amônio de  $0,02 \text{ mg/dm}^3$  foi observada no período chuvoso na Baía das Laranjeiras (Tabela 3).

- *Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID)*

As concentrações médias de NID de  $0,18 \text{ mg/dm}^3$  foram maiores na Baía de Paranaguá durante o período seco. As menores concentrações de NID foram encontradas no período chuvoso, com um mínimo de  $0,08 \text{ mg/dm}^3$  na Baía de Laranjeiras. (Tabela 3).

- *Fósforo Inorgânico Dissolvido (PID)*

Os dois eixos que compõem o CEP apresentaram diferenças no que tange à concentração de PID. Os maiores valores foram observados na Baía de Paranaguá, tanto no período seco como no período chuvoso. A Baía das Laranjeiras apresentou valores mais elevados de PID durante o período chuvoso, enquanto que na baía de Paranaguá os maiores valores ocorreram no período seco, com um máximo de  $0,015 \text{ mg/dm}^3$  de PID. O menor valor de PID, de  $0,009 \text{ mg/dm}^3$  foi verificado durante o período seco na Baía das Laranjeiras (Tabela 3).

- *Silicato*

As concentrações de silicato foram maiores no período seco em ambos os eixos, porém o maior valor, de  $4,1 \text{ mg/dm}^3$  ocorreu na Baía das Laranjeiras. A menor concentração,  $1,97 \text{ mg/dm}^3$ , foi verificada na Baía de Paranaguá, durante o período chuvoso (Tabela 3).

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DOS APORTES FLUVIAIS DA BACIA DE DRENAGEM DO CEP

### 4.2.1. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os dados de vazão e os fluxos de nutrientes, MPS e clorofila *a* foram submetidos a testes estatísticos com o objetivo de observar as possíveis diferenças entre os períodos (seco/chuvoso) e os eixos (Baía de Paranaguá e Laranjeiras). A variação espacial foi observada somente nos fluxos de nitrito, tanto nos valores expressos em *Kg/Dia* como em *Kg Km<sup>-2</sup>Dia<sup>-1</sup>*, sendo esta diferença considerada significativa ( $p=0,01$ ). Os demais parâmetros não apresentaram diferenças espaciais significativas (Tabelas 5 e 6).

TABELA 5. FLUXOS MÉDIOS E DESVIOS PADRÕES EM CADA BAÍA NOS DIFERENTES PERÍODOS (KG/DIA). FLUXOS DE MPS EXPRESSOS EM TON/DIA. \* INDICA OS FLUXOS QUE DIFERENCIARAM SIGNIFICATIVAMENTE ENTRE OS EIXOS ( $p<0,05$ ).

Variáveis	Baía da Paranaguá		Baía das Laranjeiras	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
<b>MPS (Ton/Dia)</b>	<b>4,06 ± 8,85</b>	<b>7,7 ± 8,3</b>	<b>2,53 ± 1,39</b>	<b>8,73 ± 4,4</b>
<b>Cl-a</b>	<b>1894 ± 2417</b>	<b>1691 ± 2940</b>	<b>1400 ± 2075</b>	<b>2021 ± 1871</b>
* <b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>1,82 ± 1,96</b>	<b>4,12 ± 4,12</b>	<b>1,16 ± 0,69</b>	<b>2,59 ± 1,62</b>
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>158,46 ± 273,8</b>	<b>148,25 ± 197,6</b>	<b>62 ± 49,1</b>	<b>93,53 ± 99,6</b>
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>26,8 ± 28,2</b>	<b>53,7 ± 52,8</b>	<b>15,2 ± 11,1</b>	<b>29,5 ± 18,2</b>
<b>NID</b>	<b>187 ± 293,6</b>	<b>206 ± 230</b>	<b>78,3 ± 55,8</b>	<b>125,6 ± 112,9</b>
<b>PID</b>	<b>9,7 ± 11,1</b>	<b>19,46 ± 18,1</b>	<b>6,65 ± 4,16</b>	<b>14,1 ± 10,2</b>
<b>Si(OH)<sub>4</sub></b>	<b>2174 ± 3477</b>	<b>3217 ± 4981</b>	<b>2586 ± 3777</b>	<b>3655 ± 2679</b>
<b>m3/s</b>	<b>9,0 ± 10,1</b>	<b>17,8 ± 15,9</b>	<b>5,94 ± 2,14</b>	<b>13,38 ± 3,96</b>

TABELA 6. FLUXOS MÉDIOS E DESVIOS PADRÕES EM CADA BAÍA NOS DIFERENTES PERÍODOS ( $\text{KG KM}^2\text{DIA}^{-1}$ ). \* INDICA OS FLUXOS QUE DIFERENCIARAM SIGNIFICATIVAMENTE ENTRE OS EIXOS ( $p < 0,05$ ).

Variáveis	Baía da Paranaguá		Baía das Laranjeiras	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
<b>MPS</b>	<b>14,23 <math>\pm</math> 23,1</b>	<b>34,2 <math>\pm</math> 30,1</b>	<b>28 <math>\pm</math> 13,3</b>	<b>104,9 <math>\pm</math> 66</b>
<b>Cl-a</b>	<b>7,94 <math>\pm</math> 7</b>	<b>7,3 <math>\pm</math> 8,3</b>	<b>15 <math>\pm</math> 22,7</b>	<b>21,78 <math>\pm</math> 17,9</b>
* <b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>0,008 <math>\pm</math> 0,004</b>	<b>0,02 <math>\pm</math> 0,01</b>	<b>0,01 <math>\pm</math> 0,006</b>	<b>0,03 <math>\pm</math> 0,01</b>
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>0,57 <math>\pm</math> 0,7</b>	<b>0,6 <math>\pm</math> 0,55</b>	<b>0,66 <math>\pm</math> 0,45</b>	<b>0,99 <math>\pm</math> 0,89</b>
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>0,11 <math>\pm</math> 0,08</b>	<b>0,24 <math>\pm</math> 0,19</b>	<b>0,16 <math>\pm</math> 0,13</b>	<b>0,31 <math>\pm</math> 0,15</b>
<b>NID</b>	<b>0,69 <math>\pm</math> 0,75</b>	<b>0,86 <math>\pm</math> 0,65</b>	<b>0,84 <math>\pm</math> 0,51</b>	<b>1,33 <math>\pm</math> 1</b>
<b>PID</b>	<b>0,04 <math>\pm</math> 0,03</b>	<b>0,084 <math>\pm</math> 0,05</b>	<b>0,07 <math>\pm</math> 0,03</b>	<b>0,15 <math>\pm</math> 0,1</b>
<b>Si(OH)<sub>4</sub></b>	<b>9,04 <math>\pm</math> 9,9</b>	<b>13,59 <math>\pm</math> 14</b>	<b>28,15 <math>\pm</math> 41,8</b>	<b>38,16 <math>\pm</math> 24</b>

Os fluxos de Nutrientes e MPS quando calculados em Kg/Dia exibiram diferenças significativas entre os períodos (seco/chuvoso) em grande parte dos rios. Na tabela 7 observaram-se os valores obtidos a partir da análise estatística (Teste t de Student) para as descargas expressas em *Kg/Dia*. Os fluxos de nitrito diferenciaram significativamente entre períodos na maioria dos rios. Os fluxos de clorofila-a não apresentaram sazonalidade em nenhum rio investigado.

TABELA 7. TESTE T DE STUDENT. SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA DAS DIFERENÇAS ENTRE OS PERÍODOS (SECO/CHUVOSO) PARA OS FLUXOS DOS RIOS INVESTIGADOS (CALCULADOS A PARTIR DE VALORES EXPRESSOS EM KG/DIA) E VAZÃO ( $\text{M}^3/\text{S}$ ). SE  $p > 0,1$ : NÃO SIGNIFICATIVO (NS);  $p < 0,1$  E  $> 0,05$ : MARGINALMENTE SIGNIFICATIVO;  $p < 0,05$ : SIGNIFICATIVO;  $p < 0,01$ : MUITO SIGNIFICATIVO.

Rios	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NID	PID	Si(OH) <sub>4</sub>	MPS	Cl-a	m <sup>3</sup> /s
GUARAGUAÇÚ	0,02	ns	0,05	ns	ns	ns	0,03	ns	0,0007
SAGRADO	0,00004	0,03	0,04	0,02	0,001	0,08	0,002	ns	0,0008
NHUNDIAQUARA	0,005	0,08	0,07	0,06	0,002	ns	0,01	ns	0,001
CACATÚ	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CACHOEIRA	0,08	ns	ns	ns	0,06	ns	ns	ns	0,002
FAISQUEIRA	0,04	ns	ns	ns	0,01	0,05	0,0009	ns	0,0002
TAGAÇABA	0,04	ns	0,05	ns	ns	ns	0,001	ns	0,003
SERRA NEGRA	0,05	ns	0,009	ns	0,06	0,08	ns	ns	0,0007
GUARAQUEÇABA	0,001	ns	ns	ns	0,006	ns	0,003	ns	0,001

Os valores do teste estatístico *t de Student* obtidos a partir dos fluxos por unidade de área ( $\text{Kg km}^{-2} \text{Dia}^{-1}$ ) também apresentaram sazonalidade, principalmente nos fluxos de nitrato, exceto para o rio Cacatú. Os fluxos de clorofila-a também não demonstraram diferenças entre períodos em nenhum dos rios abordados (Tabela 8).

TABELA 8. TESTE *T DE STUDENT*. SIGNIFICÂNCIAS DAS DIFERENÇAS ENTRE OS DIFERENTES PERÍODOS (SECO/CHUVOSO) PARA OS APORTES NOS RIOS INVESTIGADOS (CALCULADOS A PARTIR DE VALORES EXPRESSOS EM  $\text{KG KM}^{-2} \text{DIA}^{-1}$ ). SE  $p > 0,1$ : NÃO SIGNIFICATIVO (NS);  $p < 0,1$  E  $> 0,05$ : MARGINALMENTE SIGNIFICATIVO;  $p < 0,05$ : SIGNIFICATIVO;  $p < 0,01$ : MUITO SIGNIFICATIVO.

Rios	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	NID	PID	$\text{Si(OH)}_4$	MPS	Cl-a
GUARAGUAÇÚ	0,02	ns	0,05	ns	ns	ns	0,03	ns
SAGRADO	0,00004	0,03	0,04	0,02	0,001	0,08	0,002	ns
NHUNDIAQUARA	0,005	0,08	0,07	0,06	0,002	ns	0,01	ns
CACATÚ	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CACHOEIRA	0,08	ns	ns	ns	0,06	ns	ns	ns
FAISQUEIRA	0,04	ns	ns	ns	0,01	0,05	0,0009	ns
TAGAÇABA	0,04	ns	0,05	ns	ns	ns	0,001	ns
SERRA NEGRA	0,05	ns	0,009	ns	0,04	0,08	ns	ns
GUARAQUEÇABA	0,001	ns	ns	ns	0,006	ns	0,003	ns

#### 4.2.2. VAZÃO

O aporte de água doce proveniente dos rios ao longo do ano acompanhou as taxas de precipitação, sendo maiores no período chuvoso. Os maiores valores de vazão foram encontrados no mês de novembro de 2008, com média de  $18,16 \text{ m}^3/\text{s}$ . A menor vazão de apenas  $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$  foi registrada durante o mês de julho, (FIGURA 11). Ambos os valores (máximo e mínimo) coincidem com os meses de maiores e menores taxas de precipitação apresentados anteriormente (figura 3).

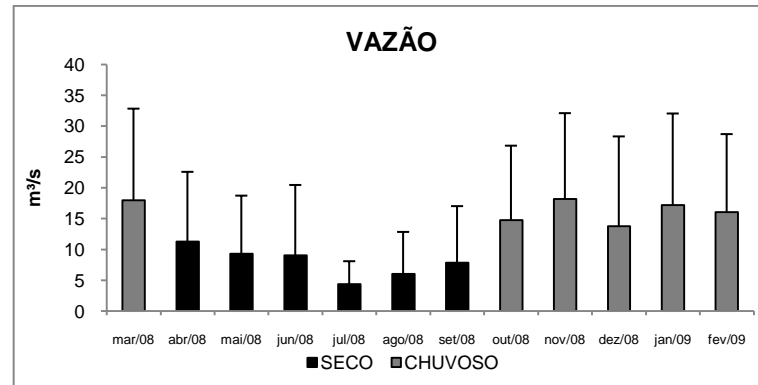


FIGURA 11. VAZÕES MÉDIAS MENSAIS EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS.

Na baía de Paranaguá os rios apresentaram diferentes valores de vazão, sendo o rio Cachoeira o principal contribuinte, com uma vazão média de 49,31  $m^3/s$  durante o período chuvoso seguido pelo Nhundiaquara, com 22,08  $m^3/s$  também no período chuvoso. O menor valor de vazão, de 2,05  $m^3/s$ , foi registrado no rio Sagrado durante o período seco. O rio Cacatú também apresentou pequenos valores de vazão, chegando a apenas 3,81  $m^3/s$  no período seco (FIGURA 12).

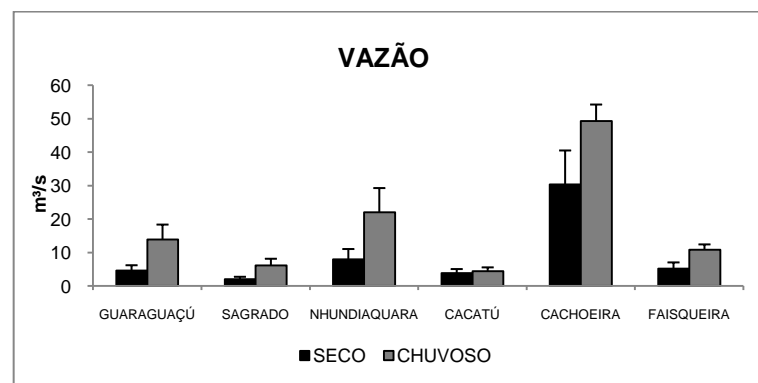


FIGURA 12. VAZÕES MÉDIAS DOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ.

O eixo da baía das Laranjeiras apresentou valores mais elevados de vazão no período chuvoso, e o rio que exibiu a maior vazão média foi o Serra Negra, de 15,74  $m^3/s$ . O menor valor encontrado foi no rio Guaraqueçaba durante o período seco, de 4,9  $m^3/s$  (FIGURA 13).

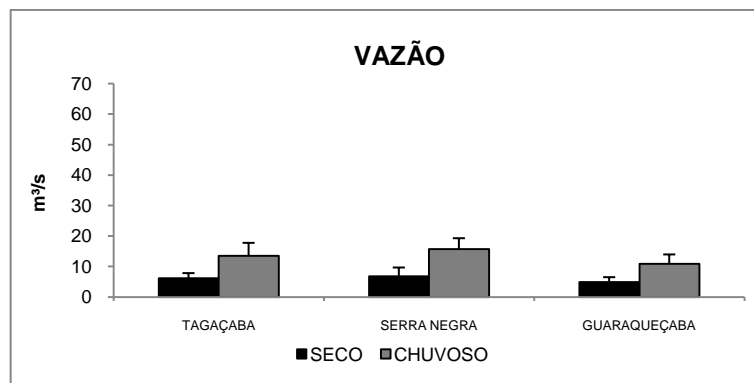


FIGURA 13. VAZÕES MÉDIAS DOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS.

#### 4.2.3. MPS

Os fluxos de MPS ao longo do ciclo anual demonstram certa sazonalidade, com valores superiores nos meses de período chuvoso e inferiores no período seco. Os valores expressos em Tonelada (*Ton*) por unidade de tempo (*Dia*) demonstram a contribuição fluvial (aporte) sem considerar a unidade de área. O mês em que foi encontrada maior contribuição de MPS foi janeiro de 2009, com um valor de 10,27 *Ton/Dia*. O mês com menor aporte foi o de agosto de 2008, com um valor de 1,5 *Ton/Dia* de MPS (FIGURA 14A).

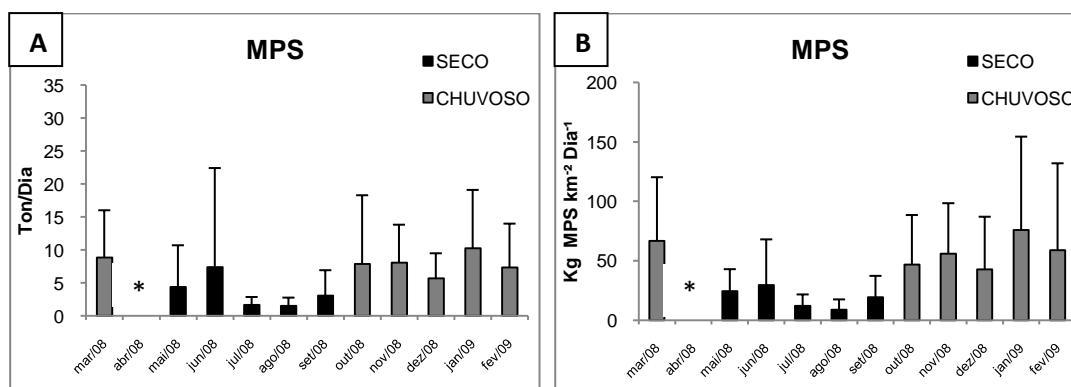


FIGURA 14. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE MPS EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM *TON/DIA*; B) VALORES EXPRESSOS EM *KG MPS KM²/DIA¹*. \* OS FLUXOS DE MPS NO MÊS DE ABRIL DE 2008 FORAM DESCONSIDERADOS POR APRESENTAREM DISCREPÂNCIAS EM RELAÇÃO AOS DEMAIS MESES, PROVAVELMENTE POR ALGUM ERRO ANALÍTICO NESTE MÊS.

O aporte de MPS também pode ser calculado em quantidade (*Ton*) por unidade de área da bacia hidrográfica ( $Km^2$ ) por unidade de tempo (*Dia*), expressando assim uma quantidade de material inserida em um espaço e num determinado tempo. Os valores encontrados ao longo do ano apresentaram o mesmo padrão de contribuição, sendo maiores nos meses de período chuvoso. O maior valor ocorreu durante o mês de janeiro de 2009, com  $75,96 \text{ Kg MPS } km^{-2} \text{ Dia}^{-1}$ . O menor valor foi registrado durante o mês de agosto de 2008, de  $8,87 \text{ Kg MPS } km^{-2} \text{ Dia}^{-1}$  (FIGURA 14B).

Os rios da Baía de Paranaguá apresentaram fluxos de MPS maiores no período chuvoso, sendo que o rio Cachoeira foi o principal contribuinte, com um valor de  $23 \text{ Ton/Dia}$ . Apesar de não apresentar vazões elevadas, o rio Sagrado apresentou altos fluxos de MPS, sendo o segundo maior rio em aporte de MPS, com  $8,42 \text{ Ton/Dia}$ . O rio com menor representatividade no aporte de MPS foi o Cacatú, com o valor de  $0,23 \text{ Ton/Dia}$  no período chuvoso (FIGURA 15A).

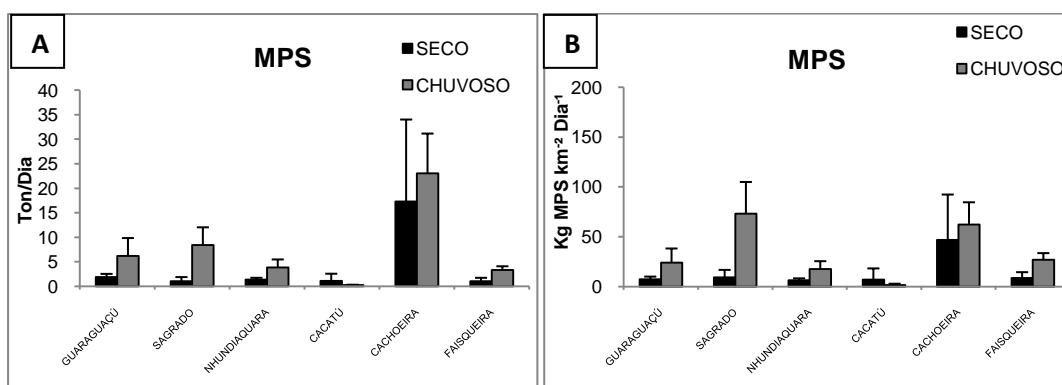


FIGURA 15. FLUXOS MÉDIOS DE MPS NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM *TON/DIA*; B) VALORES EXPRESSOS EM  $Kg \text{ MPS } km^{-2} \text{ DIA}^{-1}$

Quando considerada a área da bacia de cada rio, os fluxos de MPS apresentam diferentes representatividades, sendo o rio Sagrado o maior contribuinte por unidade de área do eixo leste-oeste, com um valor de  $73,24 \text{ Kg MPS } km^{-2} \text{ Dia}^{-1}$  durante o período chuvoso. O rio Cachoeira também foi bastante representativo, considerando sua grande área, com um valor de  $62,34 \text{ Kg MPS } km^{-2} \text{ Dia}^{-1}$  durante o período chuvoso. O rio com menor fluxo por unidade de área da Baía de Paranaguá foi o rio Cacatú, com apenas  $1,54 \text{ Kg MPS } km^{-2} \text{ Dia}^{-1}$  durante o período chuvoso (FIGURA 15B).

Na Baía das Laranjeiras, os rios não apresentaram grandes diferenças quanto aos valores de MPS, os quais foram sempre maiores no período chuvoso. O rio que apresentou maior fluxo de MPS foi o Guaraqueçaba, com 12,3 *Ton/Dia* no período chuvoso. O rio com menor fluxo de MPS na Baía das Laranjeiras foi o Tagaçaba, com um valor de 2,26 *Ton/Dia* no período seco (FIGURA 16A).

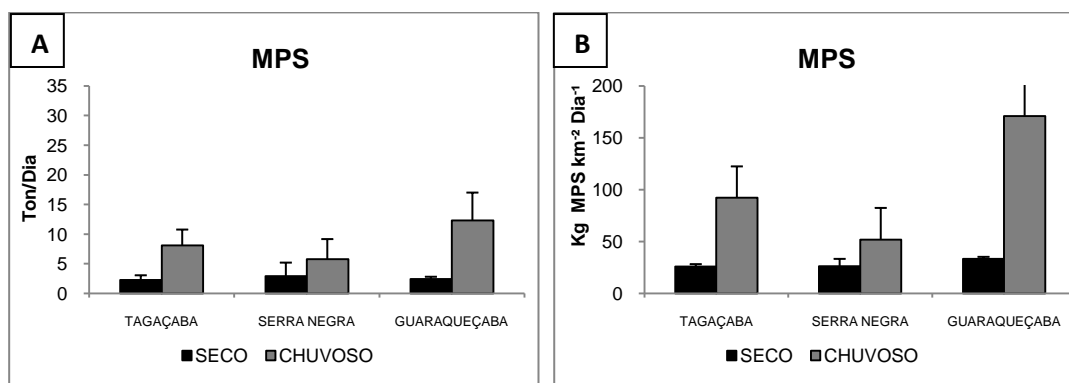


FIGURA 16. FLUXOS MÉDIOS NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM *TON/DIA*; B) VALORES EXPRESSOS EM *KG MPS KM² DIA⁻¹*.

Os valores de fluxo quando inseridos no espaço apresentaram concentrações mais elevadas de MPS nos rios da Baía das Laranjeiras quando comparados a Baía de Paranaguá, exibindo um fluxo mais elevado no rio Guaraqueçaba, com 170,84 *Kg MPS km² Dia⁻¹*. O rio Tagaçaba exibiu um valor também elevado, com um fluxo de 92,16 *Kg MPS km² Dia⁻¹* durante o período chuvoso, superando os valores observados para os rios da Baía de Paranaguá (FIGURA 15B e 16B). O rio que apresentou menores fluxos de MPS na baía das Laranjeiras foi o Tagaçaba durante o período seco, com valor de 25,75 *Kg MPS km² Dia⁻¹* (FIGURA 16B).

#### 4.2.4. CLOROFILA-a

Ao longo do ano, o aporte de clorofila-a não exibiu um padrão definido de contribuição fluvial, com picos nos meses dos períodos seco e chuvoso. O maior valor foi obtido no mês de outubro de 2008, de 4037 *Kg/Dia*. O mês de junho de 2008 apresentou descargas elevadas, de 3224 *Kg/Dia*. O menor aporte, de 974



*Kg/Dia*, foi observado no mês de maio de 2008. O mês de novembro de 2008 também apresentou baixos fluxos de clorofila-a, com um valor de 989 *Kg/Dia* (FIGURA 17A).

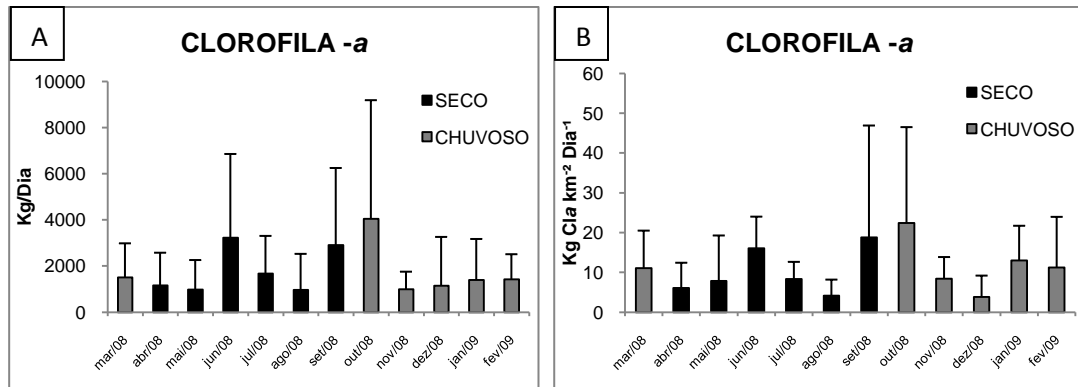


FIGURA 17. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE CLOROFILA-A EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM KG/DIA; B) VALORES EXPRESSOS EM KG CLA KM² DIA⁻¹.

Os fluxos de clorofila-a quando inseridos ao espaço ( $Km^2$ ) exibem um padrão similar, com picos nos meses dos períodos seco e chuvoso. O maior valor foi encontrado durante o mês de outubro de 2008, com um fluxo de 22,43  $Kg Cla km^{-2} Dia^{-1}$ . O mês de setembro de 2008 foi bastante representativo, com um fluxo de 18,79  $Kg Cla km^{-2} Dia^{-1}$ . O menor fluxo de clorofila-a foi verificado durante o mês de agosto de 2008, com um valor de 4,11  $Kg Cla km^{-2} Dia^{-1}$  (FIGURA 17B).

Os rios da Baía de Paranaguá exibiram fluxos elevados de clorofila-a quando comparados a Baía das Laranjeiras. O rio que apresentou maiores fluxos foi o Cachoeira, com um valor de 6836 *Kg/Dia* durante o período chuvoso. O rio que menos contribuiu na baía de Paranaguá foi o Cacatú, exibindo um fluxo de 145 *Kg/Dia* no período chuvoso (FIGURA 18A).

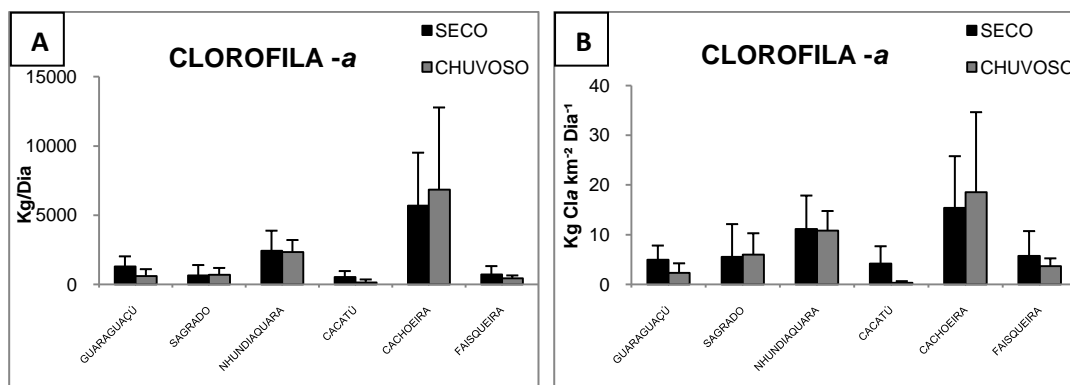


FIGURA 18. FLUXOS MÉDIOS DE CLOROFILA-A NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM  $Kg/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $Kg\ CLA\ km^2/DIA^{-1}$ .

Os fluxos de clorofila-a nos rios da baía de Paranaguá integrados ao espaço ( $Km^2$ ) apresentaram variações similares, com picos de valores médios de  $18,52\ Kg\ Cla\ km^{-2}\ Dia^{-1}$  no rio Cachoeira durante o período chuvoso. O menor fluxo encontrado foi no rio Cacatú durante o período chuvoso, com apenas  $0,29\ Kg\ Cla\ km^{-2}\ Dia^{-1}$  (FIGURA 18B).

Os fluxos de clorofila-a nos rios da Baía das Laranjeiras apresentaram valores superiores no período chuvoso, com um valor máximo no rio Serra Negra, de  $2561\ Kg/Dia$ . O menor fluxo, de  $831\ Kg/Dia$ , foi registrado no rio Guaraqueçaba durante o período seco (FIGURA 19A).

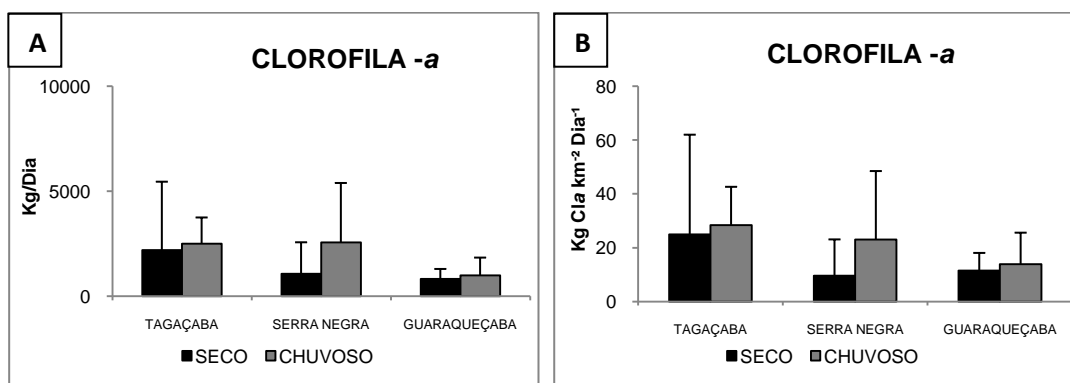


FIGURA 19. FLUXOS MÉDIOS DE CLOROFILA-A NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM  $Kg/DIA$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $Kg\ CLA\ km^2/DIA^{-1}$ .

Os rios da Baía das Laranjeiras, por outro lado, exibiram fluxos (por  $Km^2$ ) superiores aos rios da baía de Paranaguá, com um valor máximo de  $24,89 \text{ Kg Cla km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$  encontrado no rio Tagaçaba, durante o período Chuvoso. O menor fluxo, de  $9,55 \text{ Kg Cla km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$ , verificado na Baía das Laranjeiras foi no Rio Serra Negra, no período seco (FIGURA 19B).

#### 4.2.5. NUTRIENTES

##### - Nitrito

Os fluxos de nitrito foram visivelmente menores durante os meses de período seco, com um mínimo no mês de agosto de 2008, de  $1,05 \text{ Kg/Dia}$ . O maior aporte de nitrito, de  $4,8 \text{ Kg/Dia}$ , ocorreu no mês de novembro de 2008 (FIGURA 20A).

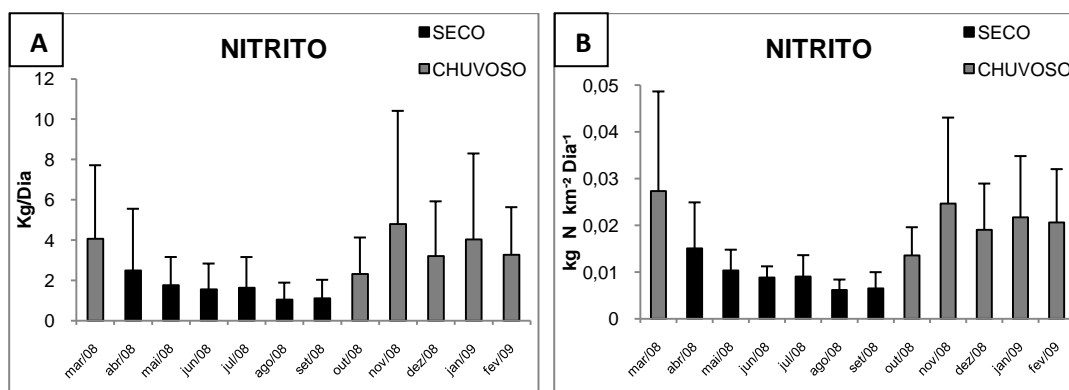


FIGURA 20. FLUXOS MÉDIOS MENSUAIS DE NITRITO EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM  $Kg/Dia$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $Kg N km^2 Dia^{-1}$ .

O aporte de nitrito integrado aos valores da área de cada bacia apresentou um padrão similar, com menores valores de fluxo nos meses do período chuvoso. O menor aporte de nitrito inserido à área das bacias foi observado durante os meses de agosto e setembro, de  $0,006 \text{ Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$ . Durante o mês de março de 2008 foram registrados os maiores fluxos de nitrito integrados às áreas das bacias, com média de  $0,027 \text{ Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$  (FIGURA 20B).

Os fluxos de nitrito nos rios da baía de Paranaguá foram mais elevados durante o período chuvoso, com um máximo de 8,66 *Kg/Dia* no rio Guaraguaçu. O menor fluxo de nitrito encontrado foi no rio Sagrado, com um transporte de apenas 0,5 *Kg/Dia* (FIGURA 21A).

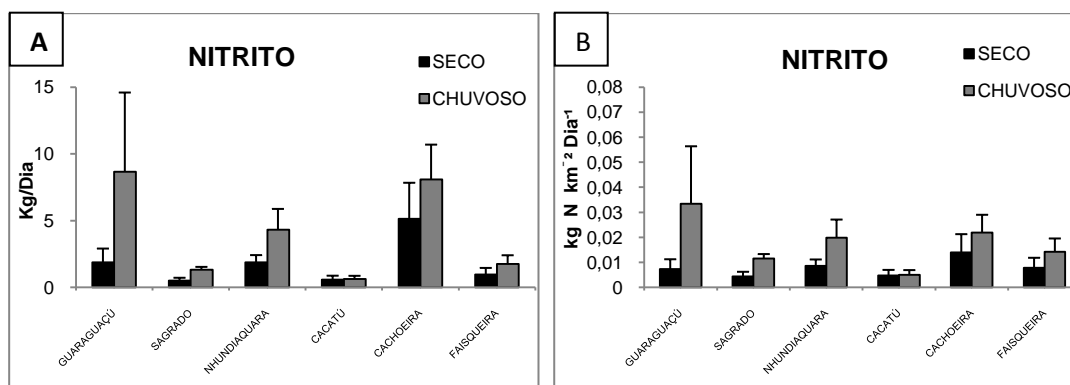


FIGURA 21. FLUXOS MÉDIOS DE NITRITO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM *KG/DIA*; B) VALORES EXPRESSOS EM *KG N KM²DIA⁻¹*.

O fluxo de nitrito integrado a área de cada bacia fluvial apresentou um padrão similar ao aporte em *Kg/Dia*, sendo o período chuvoso responsável pelos valores mais elevados. O maior aporte foi obtido no rio Guaraguaçu durante o período chuvoso, de 0,033 *Kg N km⁻² Dia⁻¹*. Os rios que apresentaram os menores valores foram o Sagrado e o Cacatú, ambos com apenas 0,004 *Kg N km⁻² Dia⁻¹* durante o período seco (FIGURA 21B).

Na Baía das Laranjeiras os fluxos de nitrito também foram superiores durante o período chuvoso, e o maior valor foi detectado no rio Serra Negra, com 3,87 *Kg/Dia*. Os fluxos de nitrito foram encontrados nos rios Tagaçaba e Guaraqueçaba, com aportes de 0,85 e 0,83 *Kg/Dia*, respectivamente, ambos durante o período seco (FIGURA 22A).

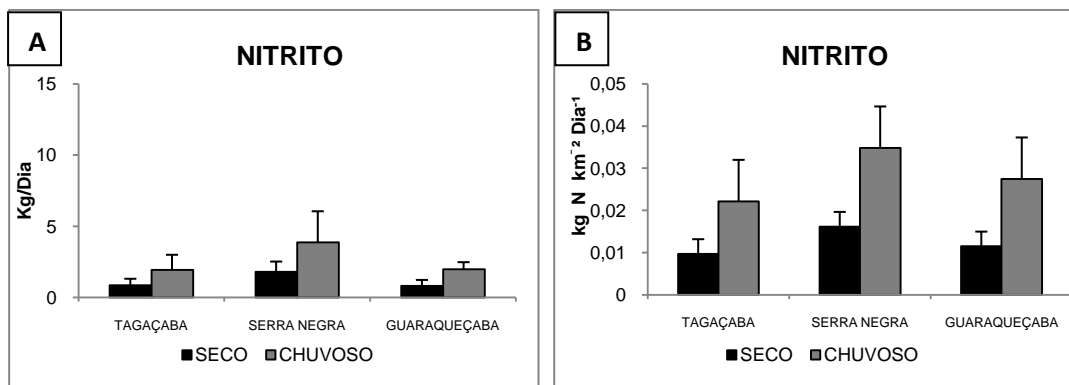


FIGURA 22. FLUXOS MÉDIOS DE NITRITO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM  $Kg/Dia$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $kg\ N\ km^{-2}\ Dia^{-1}$ .

Os rios da Baía das Laranjeiras apresentaram fluxos de nitrito integrados às áreas das bacias mais elevados também durante o período chuvoso, sendo o maior aporte registrado no rio Serra Negra de  $0,03\ Kg\ N\ km^{-2}\ Dia^{-1}$ . O menor valor encontrado foi no rio Tagaça durante o período seco, de  $0,009\ Kg\ N\ km^{-2}\ Dia^{-1}$  (FIGURA 22B).

#### - Nitrito

Os fluxos de nitrato não exibiram um padrão definido de sazonalidade, com valores elevados tanto no período seco como no período chuvoso. Valores baixos também foram encontrados em ambos os períodos, sendo que o menor fluxo de nitrato ocorreu durante o mês de setembro de 2008, com  $43,82\ Kg/Dia$ . Os maiores aportes foram registrados nos meses de março e maio de 2008, de 223 e 199  $Kg/Dia$ , respectivamente (FIGURA 23A).

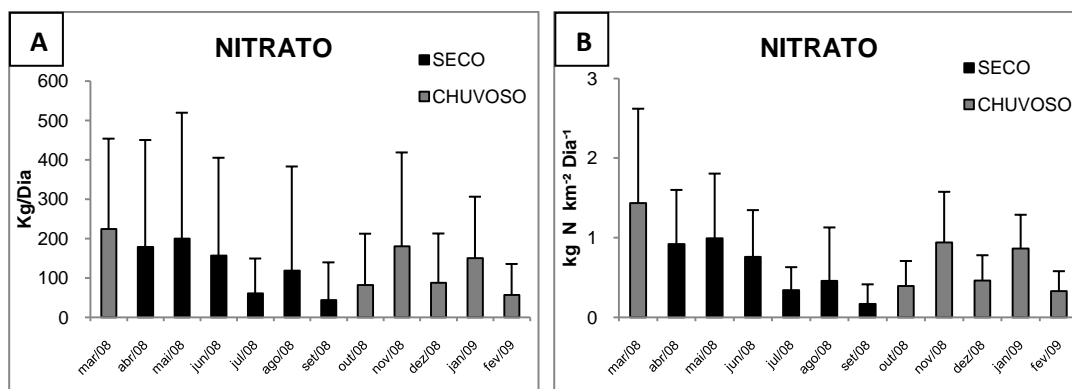


FIGURA 23. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE NITRATO EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM  $Kg/Dia$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $Kg\ N\ km^2/Dia^{-1}$ .

Os aportes de nitrato integrados às áreas das bacias fluviais exibiram uma variação similar aos valores encontrados em  $Kg/Dia$  longo do ano. O maior fluxo, de  $1,43\ Kg\ N\ km^2\ Dia^{-1}$ , ocorreu durante o mês de março de 2008. O período de menor fluxo de nitrato, de  $0,16\ Kg\ N\ km^2\ Dia^{-1}$ , foi verificado durante o mês de setembro de 2008 (FIGURA 23B).

Os aportes de nitrato na Baía de Paranaguá não exibiram um padrão temporal, variando de rio para rio. O maior fluxo, de  $692\ Kg/Dia$ , foi observado no rio Cachoeira no período seco. Os menores fluxos de nitrato foram registrados nos rios Cacatú e Sagrado, de  $0,58$  e  $0,5\ Kg/Dia$ , respectivamente, durante o período seco (FIGURA 24A).

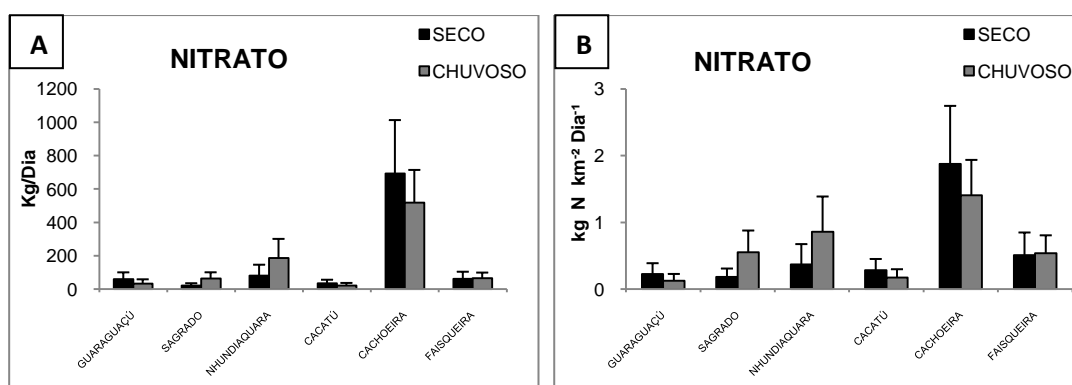


FIGURA 24. FLUXOS MÉDIOS DE NITRATO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM  $Kg/Dia$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $Kg\ N\ km^2/Dia^{-1}$ .

Os fluxos integrados às áreas das bacias fluviais na baía de Paranaguá não exibiram um padrão de variação temporal. O rio Cachoeira apresentou pico de aporte durante o período seco, de  $1,87 \text{ Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$ . O menor fluxo encontrado foi no rio Guaraguaçu durante o período chuvoso, de  $0,12 \text{ Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$  (FIGURA 24B).

Na Baía das Laranjeiras os fluxos foram, de maneira geral, inferiores aos da Baía de Paranaguá, e pôde-se observar um padrão de variação sazonal, com valores superiores durante o período chuvoso e inferiores no período seco. Os menores valores foram observados nos rios Tagaçaba e Guaraqueçaba, de 0,85 e  $0,83 \text{ Kg/Dia}$ , respectivamente. O rio Serra Negra exibiu o fluxo mais elevado, de  $3,87 \text{ Kg/Dia}$  durante o período chuvoso (FIGURA 25A).

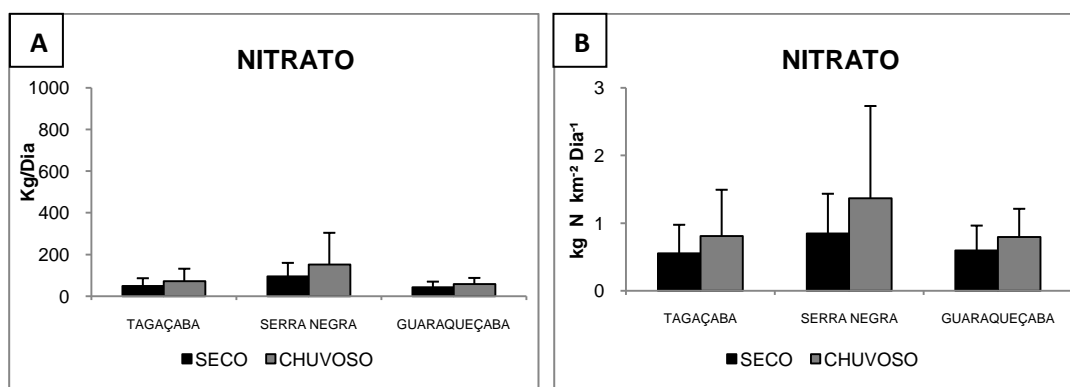


FIGURA 25. FLUXOS MÉDIOS DE NITRATO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM  $\text{Kg/Dia}$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $\text{Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$ .

Na Baía das Laranjeiras foi verificado um padrão de variação sazonal, com maiores fluxos médios de nitrato integrados às áreas das bacias de drenagens durante o período chuvoso. O maior fluxo de nitrato foi observado no rio Serra Negra, com um valor médio de  $1,36 \text{ Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$ . O menor fluxo médio de nitrato, de  $0,55 \text{ Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$ , foi registrado no rio Tagaçaba durante o período seco (FIGURA 25B).

- Nitrogênio amoniacal (amônio)

Os fluxos de amônio apresentaram uma tendência a um padrão de variação sazonal, com valores elevados nos meses de período chuvoso e inferiores durante o período seco. O maior fluxo ocorreu durante o mês de janeiro de 2009, de 78,2 *Kg/Dia*. O mês de setembro de 2008 apresentou o menor aporte de amônio, de 12,11 *Kg/Dia* (FIGURA 26A).

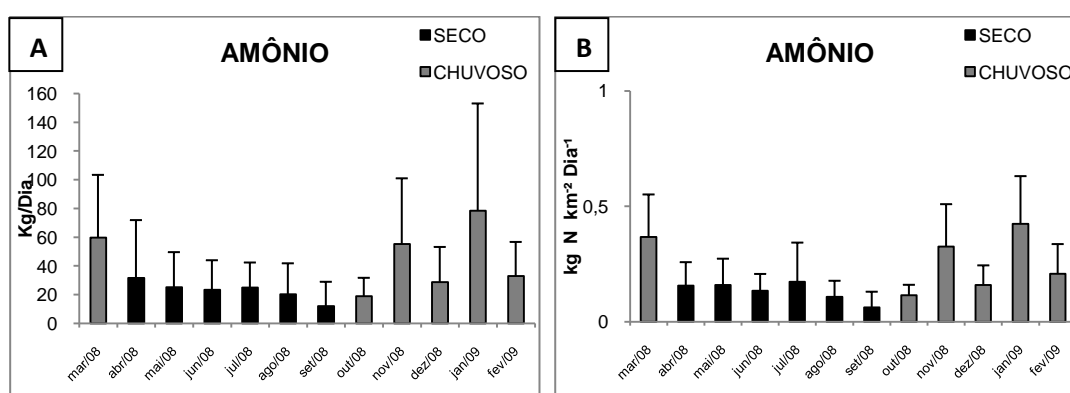


FIGURA 26. FLUXOS MÉDIOS MENSUAIS DE AMÔNIO EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM *KG/DIA*; B) VALORES EXPRESSOS EM *KG N KM²DIA⁻¹*.

Os fluxos integrados às áreas das bacias fluviais apresentaram padrão sazonal similar aos fluxos em *Kg/Dia*, com um fluxo mínimo de 0,42 *Kg N km²Dia⁻¹* no mês de janeiro de 2009. Em contraste, o menor fluxo de amônio integrado às áreas das bacias fluviais, de 0,06 *Kg N km²Dia⁻¹*, foi registrado no mês de setembro de 2008 (FIGURA 26B).

Os rios da baía de Paranaguá exibiram maiores fluxos durante o período chuvoso, sendo dos rios Guaraguaçu e Cachoeira os maiores aportes de amônio, com valores de 92,24 e 91,91 *Kg/Dia* respectivamente. Os menores aportes de amônio foram detectados nos rios Sagrado e Cacatú durante o período seco, de 5,32 e 6,63 *Kg/Dia* respectivamente (FIGURA 27A).



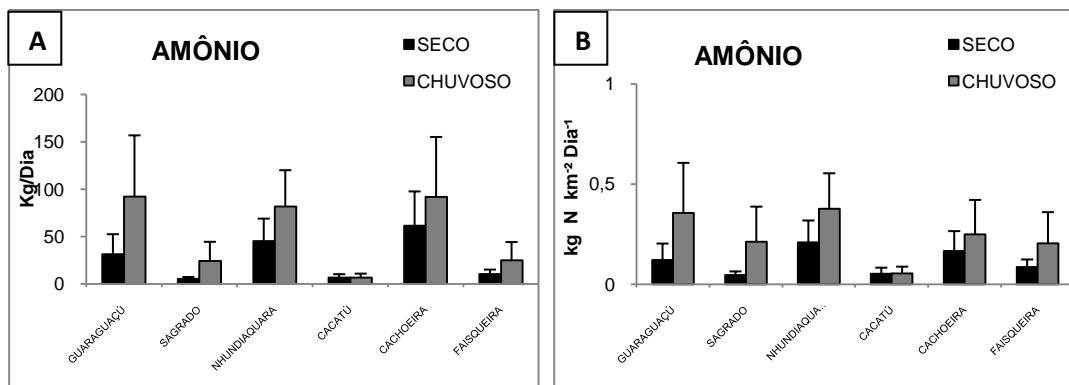


FIGURA 27. FLUXOS MÉDIOS DE NITRATO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM KG/DIA; B) VALORES EXPRESSOS EM KG N KM<sup>2</sup>DIA<sup>-1</sup>.

Os fluxos de amônio da Baía de Paranaguá integrados às áreas das bacias fluviais exibiram uma diferença temporal, com maior contribuição de amônio no período chuvoso. O maior aporte encontrado foi no rio Guaraguaçu, de 0,35 Kg N km<sup>-2</sup> Dia<sup>-1</sup>. O menor fluxo deste constituinte foi observado no rio Sagrado durante o período seco, de 0,04 Kg N km<sup>-2</sup> Dia<sup>-1</sup> (FIGURA 27B).

A Baía das Laranjeiras também apresentou aportes elevados de amônio durante o período chuvoso, sendo do rio Serra Negra o maior fluxo, de 47,16 Kg/Dia. O menor aporte foi no rio Tagaçaba durante o período seco, de 10,8 Kg/Dia (FIGURA 28A).

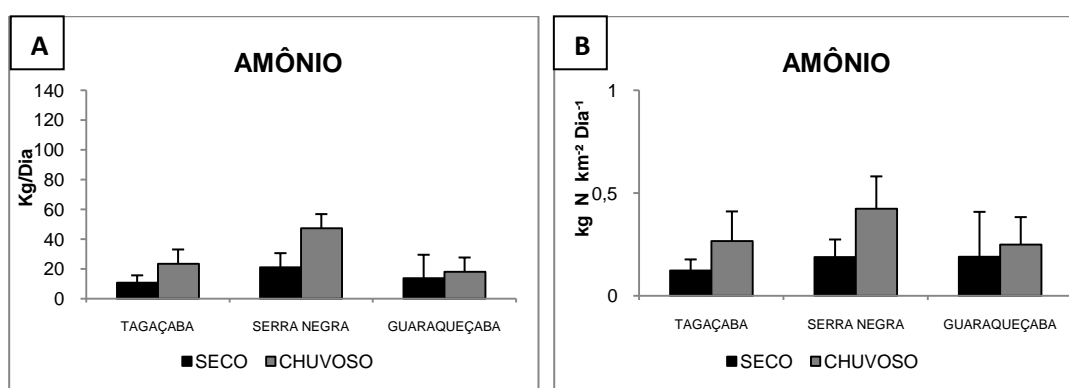


FIGURA 28. FLUXOS MÉDIOS DE NITRATO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM KG/DIA; B) VALORES EXPRESSOS EM KG N KM<sup>2</sup>DIA<sup>-1</sup>.

Na Baía das Laranjeiras os fluxos de amônio integrados às áreas das bacias de drenagens dos rios também foram superiores durante o período chuvoso. O rio

que exibiu o maior valor foi o Serra Negra, com  $0,42 \text{ Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$ . O menor fluxo, de  $0,12 \text{ Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$  foi registrado no rio Tagaçaba durante o período seco (FIGURA 28B).

#### - Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID)

O aporte de NID ao longo do ano não apresentou diferenças sazonais bem definidas, exibindo picos tanto em meses do período chuvoso com de período seco. O maior valor do aporte de NID, de  $287 \text{ Kg/Dia}$ , ocorreu no mês de março de 2008. No mês de setembro de 2008 foi observado o menor fluxo de NID mensal, de apenas  $57,04 \text{ Kg/Dia}$  (FIGURA 29A).

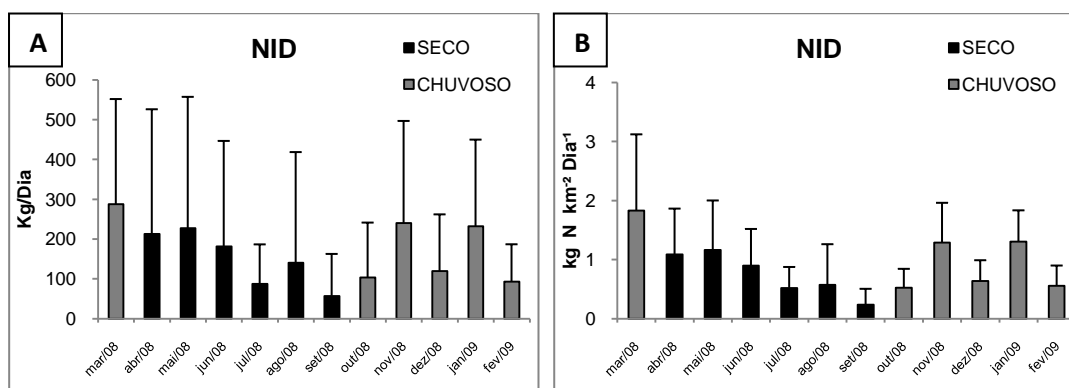


FIGURA 29. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE NID EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM KG/DIA; B) VALORES EXPRESSOS EM  $\text{Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$ .

Os aportes de NID inseridos às áreas das bacias de drenagens apresentaram padrão de variação similar aos expressos em Kg/Dia, com poucas diferenças sazonais. O maior fluxo de NID foi verificado também em março de 2008, com  $1,82 \text{ Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$ . De forma similar, o menor fluxo de NID, de  $0,23 \text{ Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$ , também foi encontrado no mês de setembro de 2008 (FIGURA 29B).

A baía de Paranaguá não exibiu um padrão sazonal de fluxo de NID, apresentando valores superiores de fluxos durante o período chuvoso somente nos rios Guaraguaçu, Sagrado, Nhundiaquara e Faisqueira. Contudo, o maior fluxo de NID foi observado durante o período seco no rio Cachoeira, de  $759 \text{ Kg/Dia}$ . O menor

fluxo de NID também foi verificado durante o período seco, no rio Sagrado, de 26,86 *Kg/Dia* (FIGURA 30A).

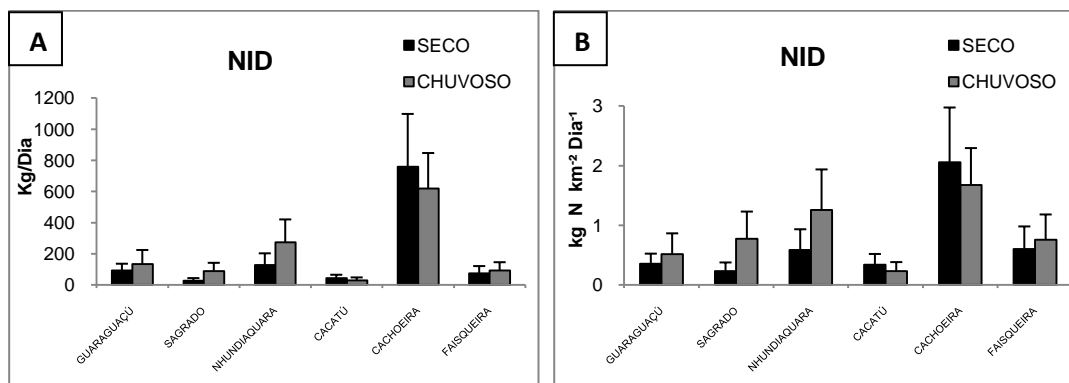


FIGURA 30. FLUXOS MÉDIOS DE NID NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM *KG/DIA*; B) VALORES EXPRESSOS EM *KG N KM²DIA⁻¹*.

Os aportes de NID quando integrados às áreas das bacias fluviais não exibem um padrão de sazonalidade, pois apresentam valores superiores do aporte de NID em ambos os períodos (seco/chuvoso). O maior fluxo integrado à área da bacia foi encontrado no rio Cachoeira durante o período seco, de 2,05 *Kg N km² Dia⁻¹*. O rio Sagrado apresentou o menor fluxo de NID, de 0,23 *Kg N km² Dia⁻¹* (FIGURA 30B).

Nos rios que deságuam na Baía das Laranjeiras os fluxos de NID exibiram certa sazonalidade, sendo sutilmente superiores durante o período chuvoso. O maior valor encontrado foi no rio Serra Negra, com um aporte de NID de 203 *Kg/Dia*. O menor aporte de NID foi exibido no rio Guaraqueçaba durante o período seco, de 57,36 *Kg/Dia* (FIGURA 31A)

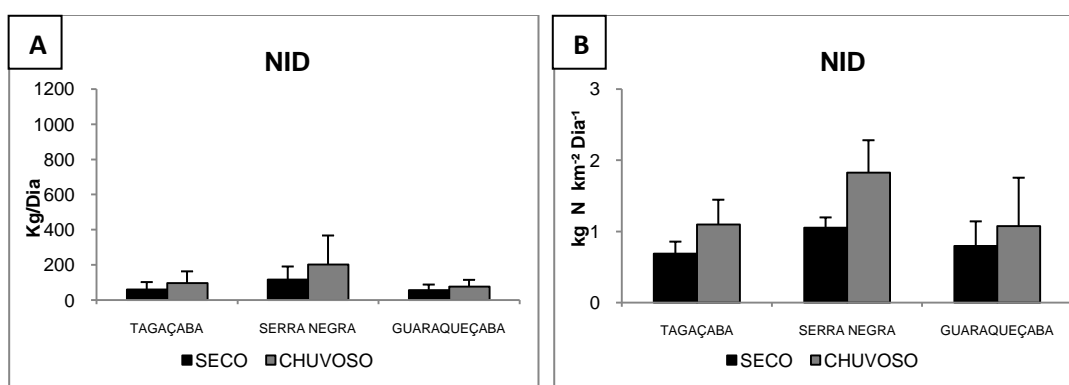


FIGURA 31. FLUXOS MÉDIOS DE NID NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM *KG/DIA*; B) VALORES EXPRESSOS EM *KG N KM²DIA⁻¹*.

Em contraste, a Baía das Laranjeiras apresentou um padrão sazonal de aporte de NID integrado às áreas das bacias fluviais, com valores superiores durante o período chuvoso. O maior aporte sazonal de  $1,82 \text{ Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$  foi registrado no rio Serra Negra. O rio que apresentou menor contribuição foi o Tagaçaba, com um aporte de  $0,12 \text{ Kg N km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$  durante o período seco (FIGURA 31B).

- *Fósforo Inorgânico Dissolvido (PID)*

O aporte fluvial de PID exibiu um padrão bem definido de sazonalidade, com valores superiores nos meses do período chuvoso. O mês dezembro de 2008 apresentou o maior aporte de PID, com um fluxo de  $23 \text{ Kg/Dia}$ . O menor aporte de PID foi obtido no mês de setembro de 2008, de  $4,28 \text{ Kg/Dia}$  (FIGURA 32A).

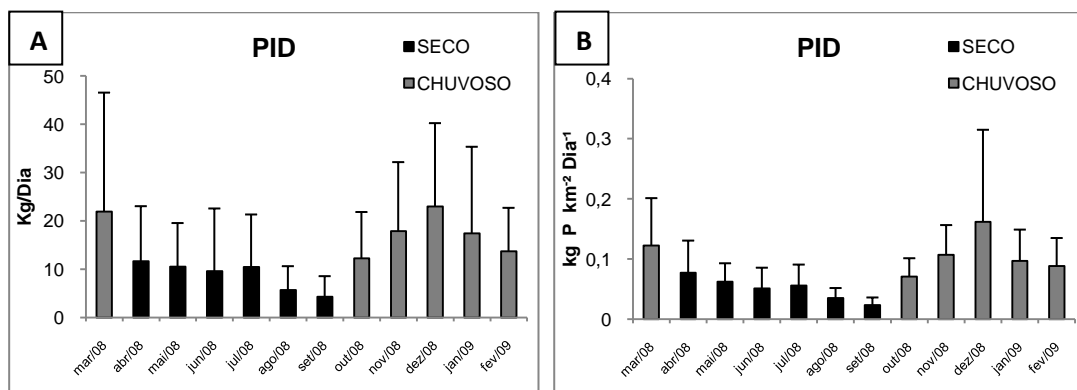


FIGURA 32. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE PID EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM KG/DIA; B) VALORES EXPRESSOS EM  $\text{Kg P km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$ .

Para os fluxos de PID integrados às áreas das bacias dos rios foi encontrado o mesmo padrão sazonal, com fluxos superiores nos meses de período chuvoso e inferiores no período seco. O maior valor observado foi de  $0,16 \text{ Kg P km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$  também no mês de dezembro de 2008. De forma similar aos fluxos expressos em  $\text{Kg/Dia}$ , o menor aporte de PID, de  $0,02 \text{ Kg P km}^{-2} \text{ Dia}^{-1}$  foi verificado no mês de setembro de 2008 (FIGURA 32B).

Os rios da baía de Paranaguá exibiram diferenças sazonais nos fluxos de PID, com valores superiores no período chuvoso. Neste eixo, o rio com maior aporte de PID, de  $49,45 \text{ Kg/Dia}$ , foi o Cachoeira, no período chuvoso. O menor valor do

aporte fluvial de PID na baía de Paranaguá foi observado no rio Cacatú durante o período seco, com 1,95 *Kg/Dia* (FIGURA 33A).

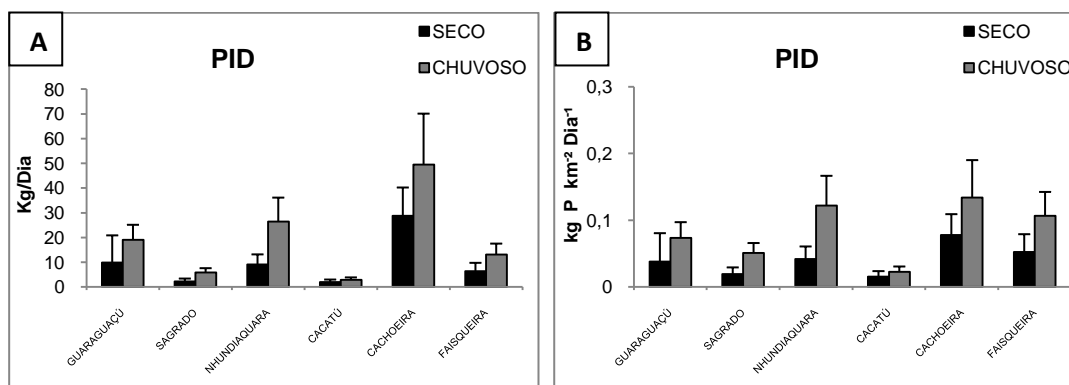


FIGURA 33. FLUXOS MÉDIOS DE PID NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM *KG/DIA*; B) VALORES EXPRESSOS EM *KG P KM²DIA⁻¹*.

Quando inseridos às áreas das bacias fluviais os rios da baía de Paranaguá exibiram o mesmo padrão de sazonalidade observado para os fluxos expressos em *Kg/Dia*, com os maiores fluxos encontrados no período chuvoso. O maior valor de fluxo de PID integrado às respectivas áreas das bacias fluviais, de 0,13 *Kg P km² Dia⁻¹*, foi observado no rio Cachoeira durante o período chuvoso. Em contraste, o menor valor verificado na baía de Paranaguá foi de 0,015 *Kg P km² Dia⁻¹* no rio Cacatú durante o período seco (FIGURA 33B).

A Baía das Laranjeiras também apresentou uma variação sazonal no aporte de PID, com valores mais elevados no período chuvoso. Os maiores valores ocorreram nos rios Tagaçaba e Serra Negra, de 17,52 e 16,91 *Kg/Dia*, respectivamente, durante o período chuvoso. O menor aporte de PID, de 3,65 *Kg/Dia*, foi observado no rio Guaraqueçaba durante o período seco (FIGURA 34A).

Nos rios da Baía das Laranjeiras os fluxos de PID integrados às áreas das bacias fluviais apresentaram valores superiores durante o período chuvoso, exibindo o mesmo padrão sazonal da baía de Paranaguá. Valores superiores aos da baía de Paranaguá foram observados, com um máximo de 0,19 *Kg P km² Dia⁻¹* no rio Tagaçaba. O menor valor na Baía das Laranjeiras, de 0,05 *Kg P km² Dia⁻¹*, ocorreu no rio Guaraqueçaba durante o período seco (FIGURA 34B).

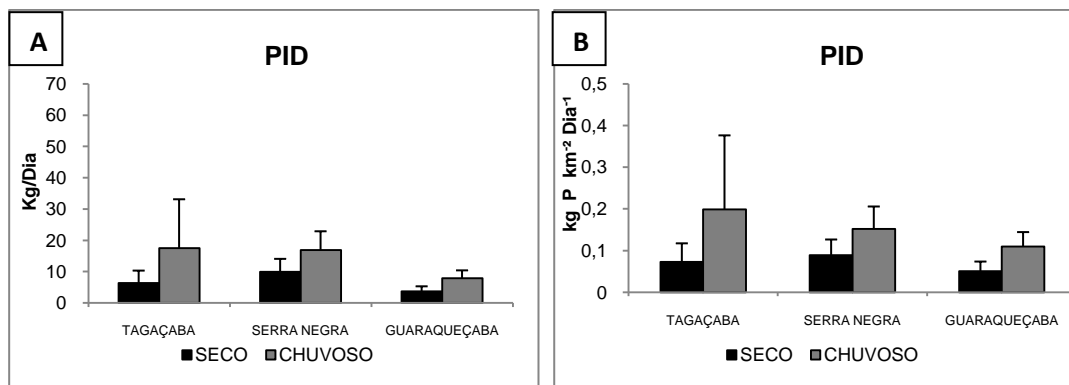


FIGURA 34. FLUXOS MÉDIOS DE PID NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM KG/DIA; B) VALORES EXPRESSOS EM  $\text{KG P KM}^2\text{DIA}^{-1}$ .

#### - Silicato

O aporte fluvial de silicato não apresentou um padrão de variação sazonal bem delineado, com picos de contribuição fluvial tanto no período seco quanto no chuvoso. Os maiores aportes foram observados nos meses de maio de 2008 e janeiro de 2009, de 5286 e 5277  $\text{Kg/Dia}$  respectivamente. Os menores valores do aporte de silicato foram verificados nos meses de julho e setembro de 2008, de 576 e 649  $\text{Kg/Dia}$  respectivamente (FIGURA 35A).

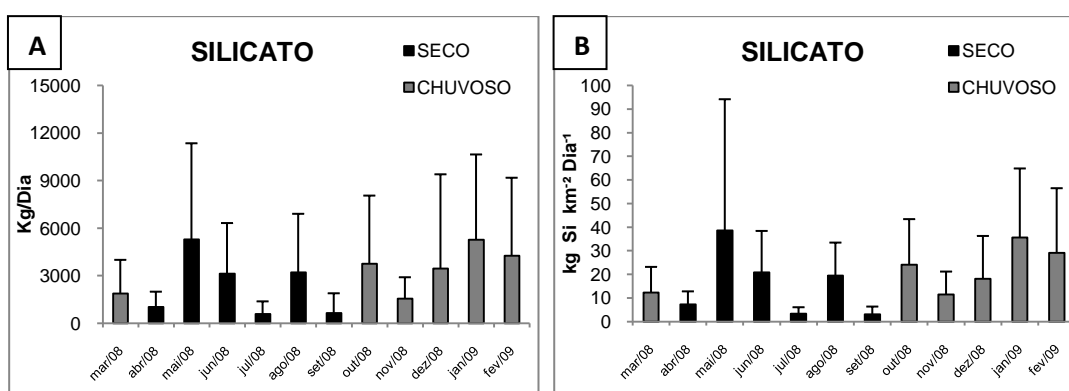


FIGURA 35. FLUXOS MÉDIOS MENSAIS DE SILICATO EM TODOS OS RIOS AMOSTRADOS. A) VALORES EXPRESSOS EM KG/DIA; B) VALORES EXPRESSOS EM  $\text{KG SI KM}^2\text{DIA}^{-1}$ .

Os fluxos de silicatos quando inseridos às áreas das bacias de drenagens exibiram um padrão semelhante aos apresentados em  $\text{Kg/Dia}$ , confirmando a ausência de sazonalidade nos aportes fluviais médios de silicato. Os maiores

aportes também foram encontrados nos meses de maio de 2008 e janeiro de 2009, de 38,6 e 35,64  $\text{Kg Si km}^{-2} \text{Dia}^{-1}$  respectivamente. Os menores aportes de silicato integrados às áreas das bacias, de 3,32 e 3,04  $\text{Kg Si km}^{-2} \text{Dia}^{-1}$ , nos meses de julho e setembro de 2008, respectivamente, condizem com os estimados em  $\text{Kg/Dia}$  (FIGURA 35B).

Nos rios da Baía de Paranaguá, os aportes de silicato não evidenciaram um padrão sazonal de contribuição, com fluxos superiores tanto no período seco como no período chuvoso. O maior aporte foi observado no rio Cachoeira durante o período chuvoso, com 12217  $\text{Kg/Dia}$ . O menor aporte encontrado foi o do rio Cacatú, onde se observou apenas 410  $\text{Kg/Dia}$  de silicato durante o período seco (FIGURA 36A).

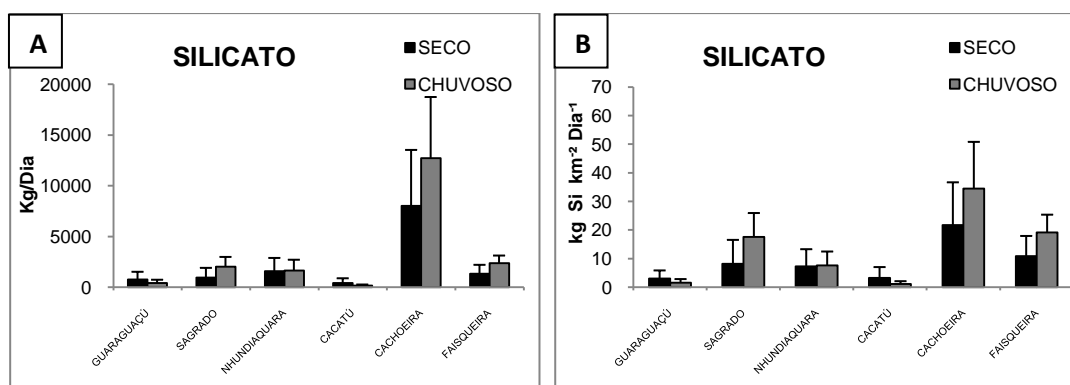


FIGURA 36. FLUXOS MÉDIOS DE SILICATO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DE PARANAGUÁ. A) VALORES EXPRESSOS EM  $\text{KG/DIA}$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $\text{KG SI KM}^{-2} \text{DIA}^{-1}$ .

Os aportes fluviais da baía de Paranaguá integrados às áreas das respectivas bacias de drenagens também não apresentaram padrões sazonais de variação, com valores superiores em ambos os períodos (seco/chuvoso). O maior fluxo encontrado foi de 34,46  $\text{Kg Si km}^{-2} \text{Dia}^{-1}$  no rio Cachoeira durante o período chuvoso. Em contrapartida, o rio com menor aporte de silicato integrado à área de sua bacia foi o Cacatú também durante o período chuvoso, de 1,17  $\text{Kg Si km}^{-2} \text{Dia}^{-1}$  (FIGURA 36B).

A Baía das Laranjeiras também não exibiu sazonalidade na contribuição fluvial de silicato, com aportes mais elevados tanto no período seco como no chuvoso. O maior fluxo, de 5728  $\text{Kg/Dia}$ , foi verificado durante o período chuvoso no rio Serra negra. O rio que exibiu menor contribuição de silicato à Baía das

Laranjeiras foi o Guaraqueçaba durante o período seco, com um aporte de 1040  $\text{Kg/Dia}$  (FIGURA 37A).

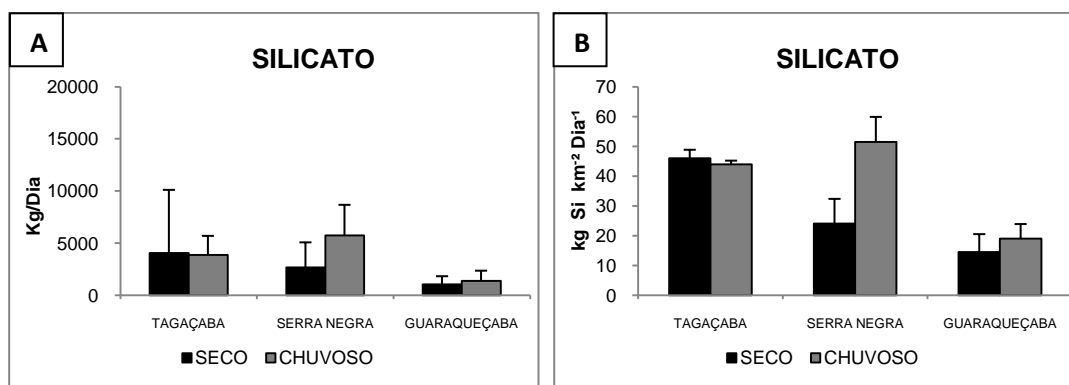


FIGURA 37. FLUXOS MÉDIOS DE SILICATO NOS RIOS AMOSTRADOS NA BAÍA DAS LARANJEIRAS. A) VALORES EXPRESSOS EM  $\text{Kg/Dia}$ ; B) VALORES EXPRESSOS EM  $\text{Kg Si km}^2 \text{Dia}^{-1}$ .

A Baía das Laranjeiras também não apresentou padrão sazonal de distribuição, com picos do aporte fluvial ( $\text{Kg Si km}^2 \text{Dia}^{-1}$ ) em ambos os períodos (seco/chuvoso). Os maiores valores encontrados foram nos rios Tagaçaba (período seco) e Serra Negra (período chuvoso), de 45,97 e 51,49  $\text{Kg Si km}^2 \text{Dia}^{-1}$ , respectivamente. O rio Guaraqueçaba exibiu o menor aporte fluvial de silicato integrado à sua bacia de drenagem, de 14,45  $\text{Kg Si km}^2 \text{Dia}^{-1}$  durante o período seco (FIGURA 37B).

#### 4.3. ÍNDICE DE POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA (IPEC)

Os índices de potencial de eutrofização costeira (IPEC) expressos em  $\text{Kg C km}^2 \text{Dia}^{-1}$  calculados a partir dos fluxos de NID e PID ( $\text{Kg N km}^2 \text{Dia}^{-1}$  e  $\text{Kg P km}^2 \text{Dia}^{-1}$ ) nos rios de ambas as baías (Paranaguá e Laranjeiras) exibiram valores abaixo de zero, indicando um excesso de sílica em relação às quantidades de NID e PID e, portanto, ausência de problemas de eutrofização costeira associados a estes nutrientes. Os rios Guaraguaçu e Cacatú apresentaram os maiores IPECs, porém não indicam potencialidade de eutrofização costeira (FIGURA 38).



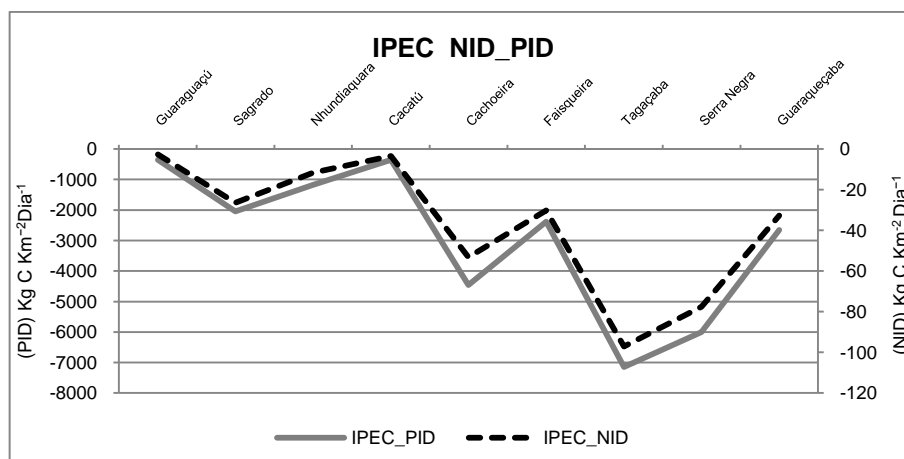


FIGURA 38. INDICADOR DO POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO (IPEC) EM  $\text{Kg C km}^{-2} \text{Dia}^{-1}$  PARA CADA RIO. ÍNDICE CALCULADO A PARTIR DOS FLUXOS MÉDIOS ANUAIS DE NIP, PID E  $\text{Si(OH)}_4$ . EM RELAÇÃO AO NID, SE O  $\text{IPEC} > 0$  – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE N ( $\text{Si} > \text{N}$ ); EM RELAÇÃO AO PID, SE O  $\text{IPEC} > 0$  – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE P ( $\text{Si} > \text{P}$ ).

Os IPECs calculados a partir nitrogênio e fósforo totais ( $\text{Kg N km}^{-2} \text{Dia}^{-1}$  e  $\text{Kg P km}^{-2} \text{Dia}^{-1}$ ) exibiram valores negativos na maior parte dos rios analisados. O rio Guaraguaçu foi o único a apresentar um valor acima de zero (quando calculado a partir do aporte de nitrogênio total) exibindo um IPEC de  $4,33 \text{ Kg C km}^{-2} \text{Dia}^{-1}$ . Este valor positivo indica um possível déficit de sílica dissolvida em relação ao nitrogênio total neste rio, o que pode acarretar problemas eventuais de eutrofização costeira para as áreas estuarinas adjacentes à desembocadura do rio (FIGURA 39).

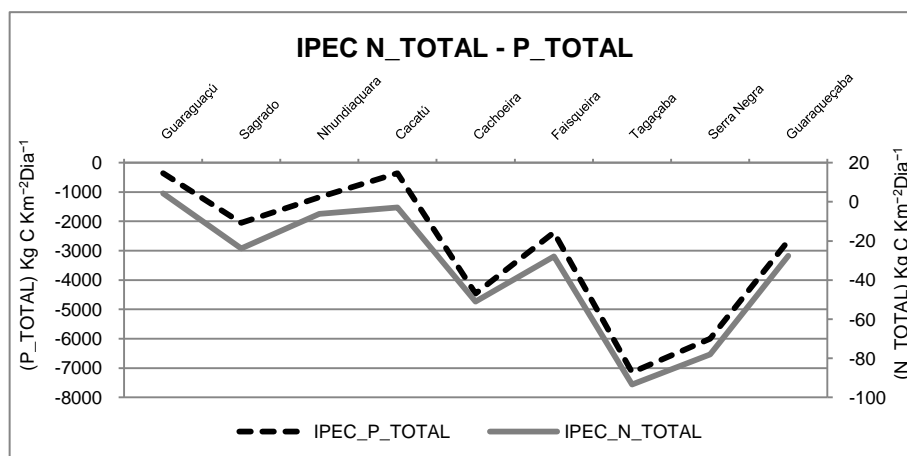


FIGURA 39. INDICADOR DO POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO (IPEC) EM  $\text{Kg C km}^2 \text{Dia}^{-1}$  PARA CADA RIO. ÍNDICE CALCULADO A PARTIR DOS FLUXOS MÉDIOS ANUAIS DE N TOTAL, P TOTAL E  $\text{Si(OH)}_4$ . EM RELAÇÃO AO N TOTAL, SE O  $\text{IPEC} > 0$  – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE N ( $\text{Si} > \text{N}$ ); EM RELAÇÃO AO P TOTAL, SE O  $\text{IPEC} > 0$  – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE P ( $\text{Si} > \text{P}$ ).

Os IPECs calculados ao longo do ciclo anual a partir do aporte de NID e PID ( $\text{Kg N km}^2 \text{Dia}^{-1}$  e  $\text{Kg P km}^2 \text{Dia}^{-1}$ ) não apresentaram valores que indicassem possíveis problemas de eutrofização relacionados ao aporte de NID e PID em comparação à sílica. Valores elevados foram encontrados nos meses de abril, julho e setembro de 2008, porém não evidenciam potencialidades de eutrofização costeira ocasionadas por vias fluviais (FIGURA 40).

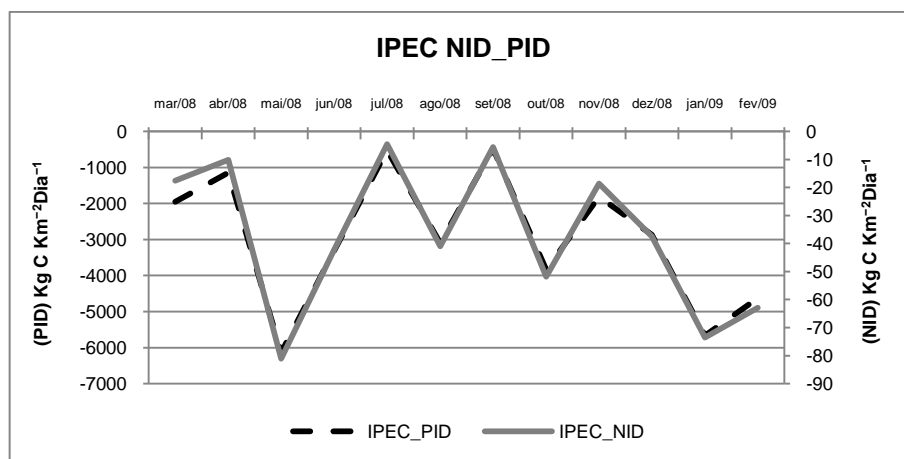


FIGURA 40. INDICADOR DO POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO (IPEC) EM  $\text{KG C KM}^2\text{DIA}^{-1}$  AO LONGO DO ANO. ÍNDICE CALCULADO A PARTIR DOS FLUXOS MÉDIOS ANUAIS DE NID, PID E  $\text{Si(OH)}_4$ . EM RELAÇÃO AO NID, SE O  $\text{IPEC} > 0$  – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE N ( $\text{Si} > \text{N}$ ); EM RELAÇÃO AO PID, SE O  $\text{IPEC} > 0$  – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE P ( $\text{Si} > \text{P}$ ).

Os valores de IPECs obtidos a partir dos fluxos mensais de nitrogênio e fósforo total ( $\text{Kg N km}^2 \text{Dia}^{-1}$  e  $\text{Kg P km}^2 \text{Dia}^{-1}$ ) nos meses de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 demonstraram ausência de problemas de eutrofização por vias fluviais relacionados às quantidades de nitrogênio e fósforo total em comparação a sílica (FIGURA 41).

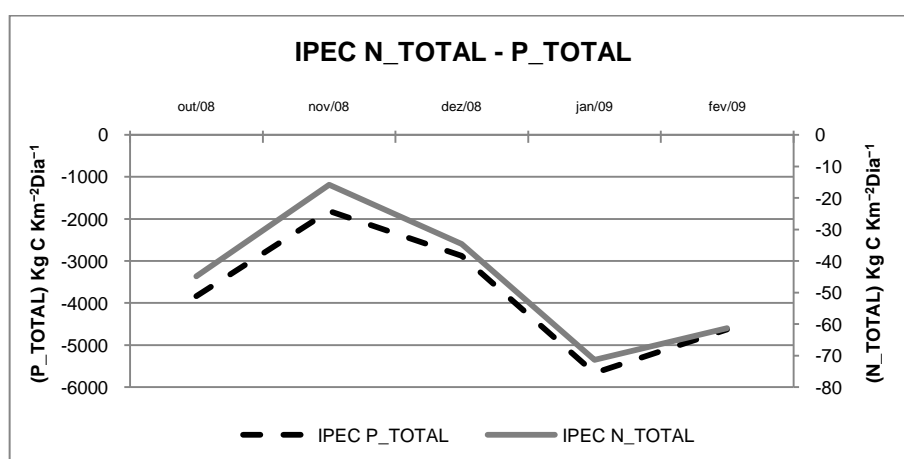


FIGURA 41. INDICADOR DO POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO (IPEC) EM  $\text{KG C KM}^2\text{DIA}^{-1}$  DE OUTUBRO DE 2008 A FEVEREIRO DE 2009. ÍNDICE CALCULADO A PARTIR DOS FLUXOS MÉDIOS ANUAIS DE N TOTAL, P TOTAL E  $\text{Si(OH)}_4$ . EM RELAÇÃO AO N TOTAL, SE O  $\text{IPEC} > 0$  – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE N ( $\text{Si} > \text{N}$ ); EM RELAÇÃO AO P TOTAL, SE O  $\text{IPEC} > 0$  – AUSÊNCIA DE PROBLEMAS DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA OCASIONADOS PELO EXCESSO DE P ( $\text{Si} > \text{P}$ ).

### - Razões Molares

As razões das concentrações molares ( $\mu\text{mol/l}$ ) de NID e PID indicaram que a maioria dos rios são limitados pela disponibilidade de PID em relação ao NID. Em contraste, os rios Guaraguaçu e Tagaçaba apresentaram razões N/P de 14,3 e 14,8, respectivamente, sugerindo certa limitação potencial pela disponibilidade de NID (FIGURA 42).

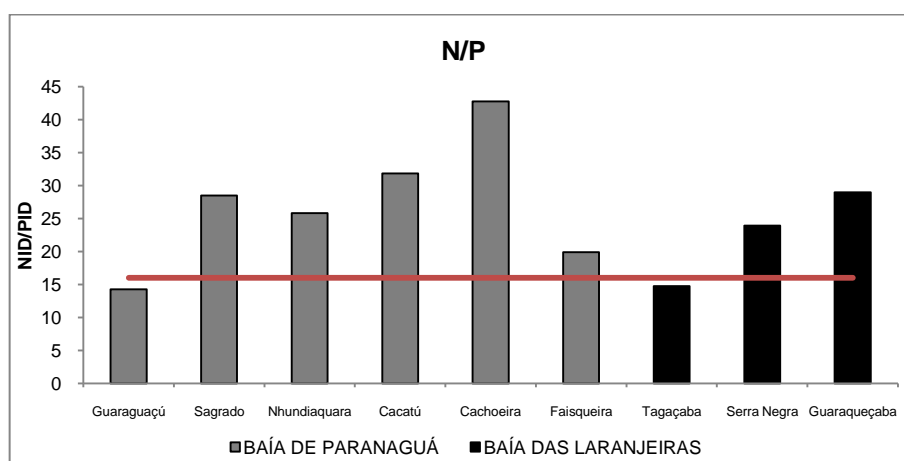


FIGURA 42. RAZÕES N/P CALCULADAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES MOLARES ( $\mu\text{MOL/L}$ ) DE NID E PID EM CADA RIO. A LINHA VERMELHA INDICA QUAL NUTRIENTE É LIMITANTE (QUANDO  $N/P > 16$ , P É LIMITANTE; QUANDO  $N/P < 16$ , N É LIMITANTE).

As razões Si/N calculadas para cada rio a partir das concentrações molares ( $\mu\text{mol/l}$ ) de sílica dissolvida ( $\text{Si(OH)}_4$ ) e NID nos rios indicam que a disponibilidade de nitrogênio é limitante em relação à sílica. A maior razão Si/N encontrada foi de 27,5 no rio Tagaçaba, enquanto que a menor razão observada foi no rio Guaraguaçu, de 3,2 (FIGURA 43).

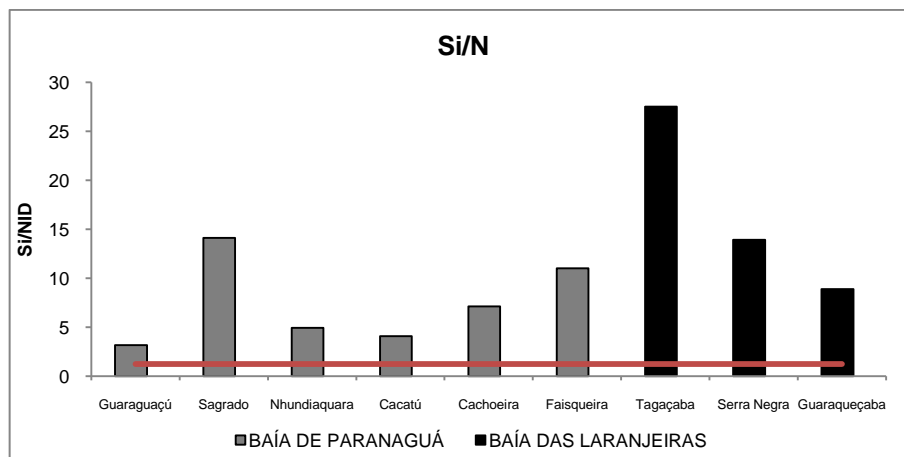


FIGURA 43. RAZÕES SI/N CALCULADAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES MOLARES ( $\mu\text{MOL/L}$ ) DE  $\text{Si(OH)}_4$  E NID EM CADA RIO. A LINHA VERMELHA INDICA QUAL NUTRIENTE É LIMITANTE (QUANDO  $\text{Si/N} > 1,25$ , N É LIMITANTE; QUANDO  $\text{Si/N} < 1,25$ , SI É LIMITANTE).

As razões Si/P obtidas a partir das concentrações molares de sílica dissolvida ( $\text{Si(OH)}_4$ ) e PID indicam limitação em todos os rios pela disponibilidade de PID. O maior valor da razão Si/P encontrado foi no rio Tagaça, de 406, indicando a alta disponibilidade de sílica dissolvida em relação ao PID. O menor valor encontrado foi de 45,1 no rio Guaraguaçu (FIGURA 44).

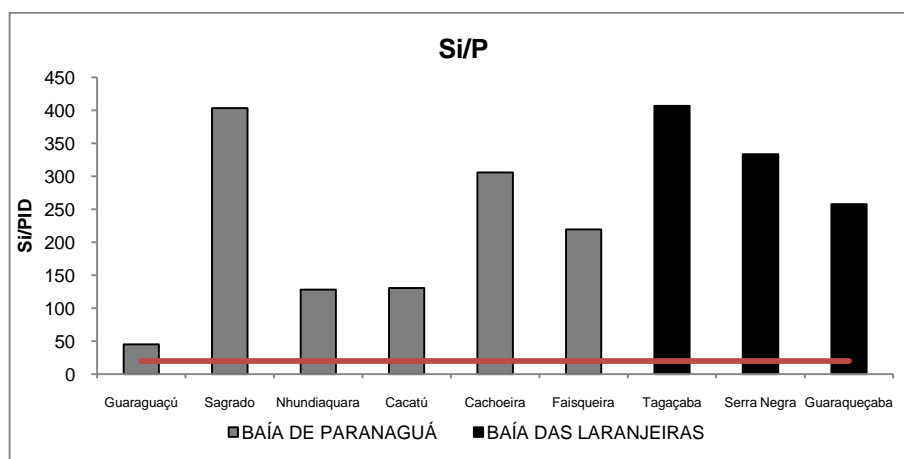


FIGURA 44. RAZÕES SI/P CALCULADAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES MOLARES ( $\mu\text{MOL/L}$ ) DE  $\text{Si(OH)}_4$  E PID EM CADA RIO. A LINHA VERMELHA INDICA O NUTRIENTE LIMITANTE (QUANDO  $\text{Si/P} > 20$ , P É LIMITANTE; QUANDO  $\text{Si/P} < 20$ , SI É LIMITANTE).

As razões de N/P ao longo do ano calculadas a partir das concentrações molares médias ( $\mu\text{mol/l}$ ) de todos os rios não exibiram tendências sazonais, com

disponibilidade de PID como limitante em relação ao NID na maior parte dos meses. Apenas os meses de julho (N/P=13,6), outubro (N/P=15,8), dezembro (N/P=9,5) de 2008 e janeiro (N/P=11,9) de 2009 foram limitados pela disponibilidade de NID sobre o PID, com razões N/P inferiores a 16. A maior razão N/P encontrada foi no mês de junho de 2008 (N/P=41,8) (FIGURA 45).

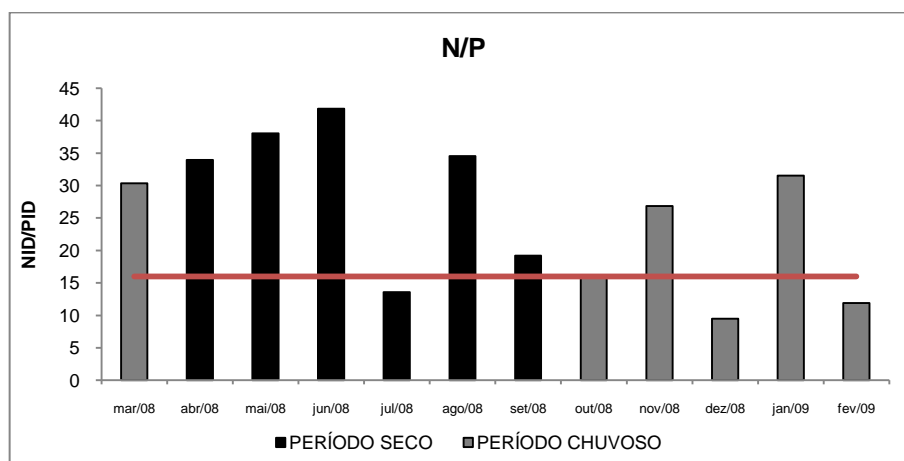


FIGURA 45. RAZÕES N/P CALCULADAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES MOLARES ( $\mu\text{MOL/L}$ ) DE NID E PID AO LONGO DO ANO. A LINHA VERMELHA INDICA O NUTRIENTE LIMITANTE (QUANDO  $N/P > 16$ , P É LIMITANTE; QUANDO  $N/P < 16$ , N É LIMITANTE).

As razões de Si/N obtidas ao longo do ciclo anual de amostragem a partir das concentrações molares médias ( $\mu\text{mol/l}$ ) de sílica dissolvida ( $\text{Si(OH)}_4$ ) e NID em todos os rios não exibiram sazonalidade, com disponibilidade de NID limitante em relação à sílica dissolvida em todos os meses. Os maiores valores encontrados foram obtidos nos meses de outubro de 2008 e fevereiro de 2009, com respectivos valores de e 15,8. Os menores valores de Si/N encontrados foram nos meses de março e abril de 2008, sendo de respectivamente de 2,9 e 3,1 (FIGURA 46).

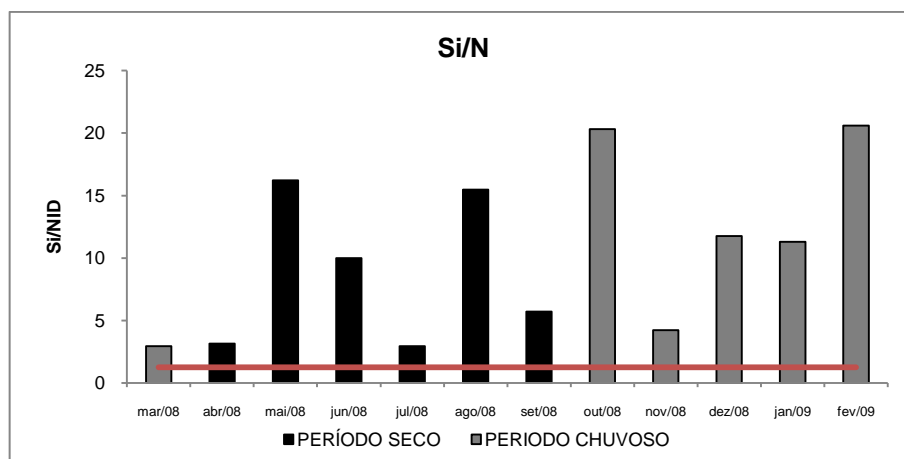


FIGURA 46. RAZÕES SI/N CALCULADAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES MOLARES ( $\mu\text{MOL/L}$ ) DE  $\text{Si(OH)}_4$  E NID AO LONGO DO ANO. A LINHA VERMELHA INDICA O NUTRIENTE LIMITANTE (QUANDO  $\text{Si/N} > 1,25$ , N É LIMITANTE; QUANDO  $\text{Si/N} < 1,25$ , SI É LIMITANTE).

As razões Si/P, calculadas a partir das concentrações molares de sílica dissolvida ( $\text{Si(OH)}_4$ ) e PID, ao longo do ano não exibiram sazonalidade. Os resultados indicam que o PID constituiu o nutriente potencialmente limitante em relação à sílica dissolvida em todos os meses observados. A maior razão Si/P, de 616, foi observada no mês de maio de 2008. O menor valor de Si/P foi registrado no mês de julho, de 39,8 (FIGURA 47).

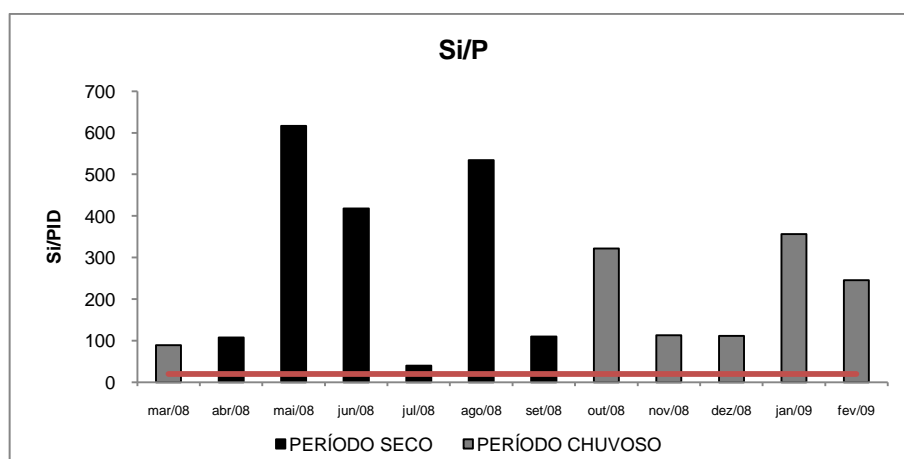


FIGURA 47. RAZÕES SI/P CALCULADAS A PARTIR DAS CONCENTRAÇÕES MOLARES ( $\mu\text{MOL/L}$ ) DE  $\text{Si(OH)}_4$  E PID AO LONGO DO ANO. A LINHA VERMELHA INDICA O NUTRIENTE LIMITANTE (QUANDO  $\text{Si/P} > 20$ , P É LIMITANTE; QUANDO  $\text{Si/P} < 20$ , SI É LIMITANTE).

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS, GEOMORFOLOGIA E POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

#### **- Precipitação, pH e Temperatura**

A taxa de precipitação acumulada determinou a divisão entre os diferentes períodos observados, uma vez que as propriedades físico-químicas dos rios são fortemente influenciadas pela intensidade de chuvas em suas bacias fluviais. Os valores de pH não tiveram grandes variações entre os períodos, porém demonstraram um caráter um pouco mais ácido durante o período chuvoso. A atmosfera contribui consideravelmente com a entrada de espécies ácidas em sistemas aquáticos, uma vez que a chuva apresenta naturalmente pH mais baixo (5,6 valor de referência) (DE MELLO, 2001), e pode estar influenciando diretamente as águas dos rios, tornando-as mais ácidas durante o período chuvoso.

Águas com maior estagnação geralmente são ricas em matéria orgânica e apresentam uma grande variedade de ácidos orgânicos e inorgânicos (ácidos carbônicos, sulfídrico, nítrico, e sais ácidos), sendo, portanto, freqüentemente mais ácidas (CAMARGO *et al.*, 1996). O Guaraguaçu foi o rio que apresentou maior amplitude de variação de pH, e isso pode estar ligado ao fato de este rio ser de planície costeira, e possuir substâncias húmicas, demonstrado pela coloração escura de suas águas. Também pelo fato de ser de planície costeira o Guaraguaçu não possui grande declividade, e, portanto, não possui grande velocidade de vazão, deixando-o mais susceptível às variações de pH decorrentes do elevado teor de matéria orgânica e às mudanças de temperatura e taxas de precipitações em sua bacia de drenagem. As bacias de drenagem dos demais rios investigados encontram-se inseridos na cadeia de montanhas da Serra do Mar com declives acentuados na transição para a planície costeira e, portanto, apresentam vazões relativamente de maior magnitude.



A temperatura da água dos rios variou como esperado, de acordo com as condições climáticas da região, sendo mais elevadas durante o período chuvoso (primavera e verão) e menores no período seco (outono e inverno).

## **5.2. FLUXOS DE MATERIAIS CONSERVATIVOS E NÃO CONSERVATIVOS**

### **- Aporte de Água Doce**

Ao longo do ciclo anual, o aporte de água dos rios que deságuam no CEP acompanhou a variação das taxas de precipitação, sendo maiores no período chuvoso. O rio Cachoeira, que possui a maior área de drenagem e que dobrou após a diversão da descarga rio Capivari (CURSIO *et al*, 1998), exibiu o maior aporte de água em relação aos demais ( $49,31 \text{ m}^3/\text{s}$ ) durante o período chuvoso, bastante similar à descarga reportada por Mantovanelli (1999) no período de verão ( $46,46 \text{ m}^3/\text{s}$ ). A magnitude da vazão foi o principal determinante do aporte de materiais provenientes dos rios (em  $\text{Kg}/\text{Dia}$ ), o qual, independentemente de suas concentrações, foi controlado pelo volume de água das bacias hidrográficas. As áreas das bacias de drenagens também foram consideradas, onde se obteve valores de aportes de materiais por unidade de área de cada bacia. Com isso, o tamanho da área de cada bacia tornou-se também um fator controlador de aporte, pois rios com maiores bacias tendem a exibir menores fluxos por unidade de área ( $\text{Kg Km}^{-2}\text{Dia}^{-1}$ ).

### **- Material Particulado em Suspensão (MPS)**

Como descrito anteriormente, a concentração de MPS ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) variou entre os diferentes períodos, com um incremento durante a fase chuvosa. O impacto ocasionado pela chuva no solo é o principal responsável pelo seu desprendimento, e a quantidade de vegetação presente no solo consiste no principal fator de redução

do processo erosivo (SHEN & JULIEN, 1992; LANE *et al.*, 1997). A capacidade de erosão do solo de uma bacia fluvial depende de uma série de fatores, como a erodibilidade do solo, a extensão e declividade do escoamento superficial, a capacidade da erosão da água da chuva e o manejo do solo, em conjunto com o tipo e quantidade de vegetação e o controle de erosão (SHEN & JULIEN, 1992). Tais fatores podem explicar as elevadas concentrações de MPS encontradas no rio Serra Negra (Baía das Laranjeiras), pois sua bacia fluvial possui declividades acentuadas que intensificam o escoamento superficial, e conseqüentemente, maiores quantidades de MPS são transportadas neste rio. A vegetação permite a formação de pequenas barreiras que resultam em empoçamentos da água e possibilitam que pequenas partículas de sedimento e detritos se depositem no solo (LANE *et al.*, 1997). Portanto, as áreas que possuem maior cobertura vegetal (florestas e matas naturais) possuem maior grau de proteção contra processos erosivos, enquanto áreas desmatadas e solos expostos (estradas, terraplanagens, etc.) são mais susceptíveis à erosão. Estes fatores, por sua vez, explicam os elevados teores de MPS no rio Sagrado (Baía de Paranaguá). Este rio possui elevado grau de desflorestamento (entre 50 e 73,6 %) (ANDRIGUETTO, 1995) com intercessões da rodovia BR 277 ao longo do seu curso. Em contraste, as baixas concentrações de MPS nos rios Cacatú e Nhundiaquara se devem, provavelmente à localização de suas nascentes e grande parte de seus percursos em áreas de afloramentos rochosos (BIGARELLA *et al.*, 1978 *apud* MANTOVANELLI, 1999) com alta resistência à erosão (LICHT, 1997 *apud* MANTOVANELLI, 1999) e por possuírem suas porções mais íngremes em regiões de Mata Atlântica com alta cobertura vegetal.

De maneira geral, os fluxos de material particulado em suspensão (MPS), assim como as concentrações, sofreram um incremento durante o período chuvoso, com diferenças significativas entre os períodos na maioria dos rios investigados (Tabelas 7 e 8). O rio Cachoeira (que possui a maior vazão entre os rios abordados) exibiu maiores médias de descarga de material particulado em suspensão (MPS) durante o período chuvoso (de 23 *Ton/Dia*). Em contraste, Mantovanelli (1999) encontrou um valor bem mais elevado neste mesmo rio, de 92,7 *Ton/Dia* durante o período de verão, o que pode ser atribuído à concentração de MPS bem mais elevada (22,94 mg/dm<sup>3</sup>) em relação ao valor encontrado no presente trabalho (5,49 mg/dm<sup>3</sup>) (Tabela 9).

TABELA 9. VALORES MÉDIOS DE MPS E VAZÃO. CONCENTRAÇÃO ( $\text{MG}/\text{DM}^3$ ), FLUXOS ( $\text{KG KM}^2/\text{DIA}^{-1}$  E  $\text{TON}/\text{DIA}$ ) E VAZÕES MÉDIAS ( $\text{M}^3/\text{S}$ ) NO RIO CACHOEIRA OBTIDOS NO PRESENTE TRABALHO E POR MANTOVANELLI (1999).

<b>MPS</b>	<b>MANTOVANELLI (1999)</b>		<b>PRESENTE TRABALHO</b>	
	<b>Verão</b>	<b>Inverno</b>	<b>Chuvoso</b>	<b>Seco</b>
<b><i>mg/dm<sup>3</sup></i></b>	22,94	18,00	5,50	6,12
<b><i>Kg Km<sup>2</sup>Dia<sup>-1</sup></i></b>	223,69	48,41	62,34	46,87
<b><i>Ton/Dia</i></b>	92,70	1,07	23,00	17,30
<b><i>m<sup>3</sup>/s</i></b>	46,85	25,34	49,32	30,39

Quando analisamos os fluxos mensurados por unidade de área de drenagem, a importância da contribuição individual de MPS dos rios é modificada. Nesta abordagem, o rio Guaraqueçaba, durante o período chuvoso, foi o principal contribuinte da Baía das Laranjeiras, com fluxos que superam os observados em outros rios do CEP. Os altos valores encontrados neste rio podem ser atribuídos à pequena área de drenagem que esta bacia fluvial possui, uma vez que o cálculo integrado aos valores de área tende a fornecer valores mais elevados quando esta é menor. Outro fato que pode estar corroborando com os altos fluxos encontrados neste rio é o desmatamento, que atinge de 25 a 50% da sua bacia (ANDRIGUETTO, 1995).

#### **- Clorofila-a**

A sincronia entre as oscilações nas concentrações de clorofila-a com as dos nutrientes dissolvidos, maiores durante o período seco, permite especular que a atividade fotossintética presente nos rios está sendo limitada pela disponibilidade de nutrientes. No entanto, outro fator que pode determinar a concentração de clorofila-a em ambientes fluviais é o tempo de retenção da água, que por ser muito curto não permite que as populações de fitoplâncton se desenvolvam. Contudo, em períodos de menores vazões o tempo de retenção da água pode se prolongar, e, portanto, as comunidades fitoplanctônicas podem se desenvolver, aumentando assim a concentração de clorofila-a nas águas dos rios (PINDER *et al.*, 1997).

Os aportes de clorofila-*a* não exibiram variações sazonais significativas (tabelas 5 e 6), e os principais controladores dos fluxos de clorofila-*a* foram os valores de vazão, que proporcionaram maiores descargas de clorofila-*a* no rio Cachoeira durante o período chuvoso (Kg/Dia). Concomitantemente ao fato que o aporte de água é o principal agente controlador dos aportes de materiais, quando inseridos às áreas de drenagens das bacias, os fluxos mais elevados puderam ser observados no rio Tagaçaba, que, apesar de possuir maiores concentrações de clorofila-*a* no período seco, seus maiores fluxos foram exibidos no período chuvoso. Este rio, além de apresentar elevada declividade ao longo de seu curso, possui área de drenagem pequena, e, portanto, tende a apresentar maiores valores de fluxos por unidade de área (Km<sup>2</sup>).

#### **- Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos**

O incremento nas concentrações de nutrientes dissolvidos no período seco pode ser atribuído ao fato de que neste período ocorre uma concentração destes componentes. Tal comportamento também foi observado para os rios Nhundiaquara e Marumbi (Bacia Litorânea do Paraná) (MARQUES, 2004). A diversão do rio Capivari ao rio Cachoeira levou à construção da represa Capivari-Cachoeira, que se localiza no alto da Serra do Mar à montante do rio Cachoeira. Esta represa contribui com um volume substancial de água para a bacia do rio Cachoeira, e, portanto, incrementa a quantidade de nutrientes que é carregado por este rio, conferindo-lhe características únicas em relação aos demais rios investigados.

#### **- Nitrito**

Por ser encontrado em pequenas quantidades nas águas dos rios, o nitrito pode ser utilizado como um bom indicador de fontes de contaminação, pontuais (esgotos domésticos e industriais) ou difusas (lixiviação de fertilizantes utilizados em atividades agrícolas). Este nutriente foi o único a exibir diferenças significativas entre

os dois eixos, com concentrações mais elevadas na baía de Paranaguá, decorrentes possivelmente da maior influência antrópica nesta região. Os teores de nitrito verificados no presente estudo foram muito baixos, corroborando com os valores reportados por Marques (2004), de 0,001 a 0,005 mg/dm<sup>3</sup>, nos rios Nhundiaquara e Marumbi (Bacia Litorânea do Paraná). As baixas concentrações ocorrem pelo fato de este componente possuir alta instabilidade em água, transformando-se rapidamente em nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) conforme a disponibilidade de oxigênio no meio (MARQUES, 2004). Ambientes lóticos com velocidades de vazão elevadas podem apresentar maiores teores de oxigênio dissolvido, pois a movimentação da água ocasiona a aeração do corpo hídrico, favorecendo a oxidação do nitrito nos rios.

Em conformidade com as variações espaciais significativas das concentrações de nitrito, os fluxos deste nutriente foram os únicos a exibir diferenças significativas entre a Baía de Paranaguá e Laranjeiras, maiores na primeira, reforçando a possibilidade de maior influência antrópica no eixo leste-oeste. As variações sazonais foram significativas na maior parte dos rios (com exceção do Cacatú), realçando a influência dos índices pluviométricos no carreamento deste nutriente às bacias fluviais. O Guaraguaçu, apesar de não possuir uma vazão elevada, apresentou descargas de nitrito superiores aos outros rios durante o período chuvoso, possivelmente devido às grandes concentrações verificadas neste rio. Na Baía das Laranjeiras o rio Serra Negra foi o principal contribuinte de nitrito para o CEP durante o período chuvoso, provavelmente devido à declividade acentuada e área total extensa de sua bacia, permitindo carrear grandes quantidades de nitrito.

#### *- Nitrato*

O nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) constituiu a forma dominante de NID, o que parece ser uma característica comum nos ambientes aquáticos em geral, e, neste estudo, não exibiu sazonalidade. Marques (2004) verificou concentrações de nitrito que variaram de 0,04 a 0,2 mg/dm<sup>3</sup> (rios Nhundiaquara e Marumbi), valores estes que podem ser comparados aos encontrados no presente estudo (0,02 a 0,26 mg/dm<sup>3</sup>). Contudo, quando observado individualmente, o rio Cachoeira apresentou diferenças

significativas entre os valores observados nos dois períodos (Tabela 4), além de ser o rio que exibiu as maiores concentrações médias de nitrato durante o período seco. Este fato pode estar relacionado à maior área de sua bacia de drenagem, além da maior vazão entre todos os rios, que dobrou após a diversão da descarga rio Capivari (CURSIO *et al*, 1998).

As descargas de nitrato provenientes das bacias fluviais do CEP também não apresentaram variações espaciais significativas (entre a Baía de Paranaguá e Laranjeiras), e os rios Sagrado e Nhundiaquara foram os únicos a demonstrarem variações sazonais no aporte deste nutriente (Tabelas 5 e 6). O carreamento deste nutriente pelo Nhundiaquara intensificou durante o período chuvoso, provavelmente devido aos aumentos nas taxas pluviométricas e atividades turísticas no município de Morretes, que tendem a ser mais elevados durante os meses de verão, e conseqüentemente, incrementam o aporte de nitrato às bacias fluviais. Já para o rio Sagrado, a taxa de precipitação associada com o elevado grau de desflorestamento (entre 50 e 73,6 %) (Andriguetto, 1995), e, portanto, grande potencial erosivo, constituem os principais fatores de influência na adição deste nutriente à sua bacia, tornando-o susceptível ao incremento de materiais nos períodos chuvoso, ainda que em maior grau do que no Rio Cachoeira. Contudo este último rio, em contraposição aos rios Nhundiaquara e Sagrado, exibiu uma incremento no aporte de nitrato durante o período seco, provavelmente devido à presença de atividade fitoplanctônica, que foi menos intensa neste período disponibilizando maiores quantidades de nitrato (BRANDINI, 2008).

#### - Amônio

O nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) não apresentou variações espaciais e temporais em nenhum dos rios abordados, e suas concentrações foram relativamente baixas. Este componente origina-se dos processos de decomposição da matéria orgânica por bactérias e fungos, denominado de amonificação. Estes decompositores, durante o processo de mineralização (oxidação ou fermentação do carbono), transformam o nitrogênio orgânico que se encontra na forma particulada e dissolvida em nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) (ROLAND *et al.*, 2005). No entanto, a

qualidade do substrato degradado pelas bactérias e fungos determinará se o amônio será disponibilizado ou absorvido pelo meio. Portanto, quando encontrado em excesso, o nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) pode ser um bom indicador de contribuição antrópica de efluentes.

Apesar da ausência de variações sazonais nas concentrações, os fluxos de amônio sofreram um incremento durante o período chuvoso em alguns rios (Guaraguaçu, Sagrado, Nhundiaquara, Tagaçaba e Serra Negra), porém não apresentaram diferenças significativas entre eixos. Os rios Guaraguaçu, Nhundiaquara e Cachoeira foram os principais contribuintes de amônio para o CEP durante o período chuvoso. Entretanto, o rio Nhundiaquara apresentou picos de concentrações de amônio durante o período seco, em concordância com o estudo realizado no mesmo rio por Marques (2004), que detectou valores elevados deste constituinte neste período, provavelmente devido à proximidade do rio às áreas urbanizadas do município de Morretes, com presença de despejo de efluentes domésticos. O rio Guaraguaçu também exibiu concentrações e fluxos elevados de amônio, possivelmente por estar situado na planície costeira e apresentar concentrações elevadas de matéria orgânica em decomposição, fator que pode estar contribuindo para o aumento da disponibilidade de amônio neste rio. O rio Cachoeira constituiu o maior contribuinte de amônio para o CEP, o que foi determinado pelo incremento no aporte de água em sua bacia hidrográfica.

#### *- Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID)*

A discussão dos fluxos de nitrogênio ao longo do ecossistema lótico é fundamental para a compreensão de seu funcionamento, uma vez que este é um dos mais importantes nutrientes para a produtividade (MARQUES, 2005).

O nitrogênio inorgânico dissolvido ( $\text{NID} = [\text{NO}_2^-] + [\text{NO}_3^-] + [\text{NH}_4^+]$ ) no presente estudo foi composto por 75 % de nitrato, 24 % de amônio e apenas 1 % de nitrito, valores que permitem inferir que a maior parte do nitrogênio amoniacal que se encontra em excesso provavelmente por fontes internas no CEP, como esgotos domésticos não tratados (MACHADO *et al.*, 1997; MIZERKOWSKI *et al.*, 2009), e não das bacias de drenagens. O NID variou significativamente entre períodos

(seco/chuvoso) somente nos rios Guaraguaçu, Cachoeira e Cacatú, com maiores concentrações no rio Cachoeira. A faixa de concentrações verificada para os rios investigados no presente estudo (0,07 a 0,28 mg/dm<sup>3</sup>), foi comparável às reportadas por Marques (2004), de 0,05 a 0,25 mg/dm<sup>3</sup>.

Os fluxos de NID, em contraste com suas concentrações, não apresentaram variações significativas nas escalas espaciais e temporais investigadas. As exceções foram os rios Sagrado e Nhundiaquara, que exibiram diferenças significativas de fluxos de NID entre os dois períodos. Contudo, o rio Cachoeira foi o principal contribuinte nas descargas de NID, pois além de exibir concentrações superiores deste componente, é responsável pelo maior aporte de água, fatores concomitantes aos altos elevados fluxos apresentados por este rio. Ademais, este rio possui a maior área de drenagem entre os rios amostrados, e por isso recebe quantidades elevadas de materiais provenientes do escoamento superficial, explicando assim as concentrações elevadas encontradas. As maiores fontes de NID para os ambientes lóticos estão ligados aos processos de lixiviação que são intensificados pela quantidade de chuvas, que aumentam o escoamento superficial. Em adição, processos de nitrificação no lençol freático também contribuem para o aporte fluvial de NID.

Os fluxos fluviais de N verificados neste estudo estão dentro do intervalo reportado para outros ambientes fluviais tropicais (Tabela 10).



TABELA 10. APORTES DE NUTRIENTES EM DIFERENTES RIOS TROPICAIS DO MUNDO; RAZÕES MOLARES *N:P:Si* E O ÍNDICE DE POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA (IPEC). ADAPTADO DE (BILLEN & GARNIER, 2007).

<i>Rios</i>	<i>Área Drenagem</i>	<i>Kg N Km<sup>-2</sup>Ano<sup>-1</sup></i>	<i>Kg P Km<sup>-2</sup>Ano<sup>-1</sup></i>	<i>Kg Si Km<sup>-2</sup>Ano<sup>-1</sup></i>	<i>Si/N</i>	<i>Si/P</i>	<i>N/P</i>	<i>Limitante</i>	<i>IPEC</i>	<i>Referências</i>
Red River (Vietnam)	156,44	855,00	325,00	2920,00	1,71	9,90	5,80	N	-5	Le et al. (2005)
Jiazhou (China)	6388,00	2802,00	809,00	2884,00	0,51	3,90	7,70	N	26	Liu et al. (2005)
Changjiang (China)	1808500,00	346,00	145,00	1365,00	1,97	10,40	5,30	N	-3	Zhang (1996)
Minjiang (China)	60992,00	763,00	116,00	5167,00	3,39	49,30	14,60	N	-20	Zhang (1996)
Jiulongjiang (China)	14741,00	838,00	75,00	7874,00	4,70	116,50	24,80	P	-41	Zhang (1996)
Zhujiang (China)	442585,00	836,00	177,00	3004,00	1,80	18,80	10,50	N	-6	Zhang (1996)
Amazon (Brasil)	6144000,00	224,00	50,00	5236,00	11,69	116,90	10,00	N	-29	Edmond et al. (1981)
Guaraguaçu	259,00	612,74	35,71	835,63	1,55	58,05	37,48	P	4	-
Sagrado	115,00	351,08	12,73	4703,66	10,44	292,31	28,00	P	-24	-
Nhundiaquara	217,00	693,19	25,72	2712,08	3,93	185,58	47,18	P	-6	-
Cacatú	125,00	136,41	1,65	813,95	3,18	232,62	73,17	P	-3	-
Cachoeira	369,00	826,95	71,40	10252,71	7,51	282,36	37,60	P	-51	-
Faisqueira	123,00	388,88	17,37	5471,78	9,54	221,82	23,25	P	-28	-
Tagaçaba	88,00	557,23	17,92	16411,04	19,62	459,63	23,42	P	-93	-
Serra Negra	111,25	497,83	11,57	13784,82	11,13	467,64	42,01	P	-78	-
Guaraqueçaba	72,00	672,55	10,39	6112,89	6,86	278,93	40,66	P	-28	-

- *Fósforo Inorgânico Dissolvido (PID)*

O aporte fluvial de PID no CEP não apresentou variações sazonais (períodos seco/chuvoso) e espaciais (eixos leste-oeste/norte-sul) significativas, porém constatou-se um incremento no carreamento de fósforo para o CEP durante o mês de julho de 2008, período de menor taxa de precipitação, e conseqüentemente, menor vazão. É provável que, por exibir menor aporte de água, o teor de PID se encontrou em maior concentração (menor diluição), como verificado no trabalho de Marques (2004) para os rios Nhundiaquara e Marumbi (Bacia Litorânea do Paraná) durante o período seco. Contudo, o rio que apresentou o maior aporte de PID foi o Guaraguaçu durante o período seco, possivelmente devido a sua baixa velocidade de vazão (por ser de planície costeira), e, conseqüentemente, menores quantidades de materiais em suspensão. A quantidade de material particulado presente nos rios pode diminuir a disponibilidade de PID nestes ambientes, pois este componente possui facilidade de se adsorver às partículas que se encontram suspensas na coluna d'água (RUTTEMBERG, 2005). Portanto, em um ambiente de menor hidrodinâmica e baixos teores de MPS, como no Rio Guaraguaçu, a permanência do PID na coluna d'água é certamente favorecida.

Entre os fatores que condicionam a distribuição de PID em ecossistemas límnicos tropicais estão o perfil do oxigênio e o período de estratificação térmica (ESTEVES, 1998). Elevadas temperaturas aceleram sua absorção por organismos planctônicos em decorrência do aumento dos processos metabólicos. Além destes fatores, o teor de PID nas águas dos rios também é influenciado pelas flutuações nos valores de pH (HU *et al.*, 2001) e fortemente relacionado à decomposição da matéria orgânica no sedimento (SLOMP *et al.* 1993). Com base nestas informações, o rio que apresenta características mais suscetíveis à atuação destes “controladores” de PID nos ambientes fluviais é, como exposto acima, o Guaraguaçu.

Os aportes de P pelos rios que deságuam no CEP foram menores que os fluxos verificados por diversos rios na China e rio Amazonas. A exceção foi do rio Cachoeira, que superou o do rio Amazonas (Tabela 10). Provavelmente, os elevados fluxos registrados nos sistemas fluviais chineses são

consequências de um alto grau de interferência antrópica, especialmente no Rio Jiazhou.

- *Silicato*

A sílica dissolvida  $\text{Si(OH)}_4$  presente nos rios possui como principal origem o intemperismo das rochas, um processo que é intensificado por altas temperaturas, umidade e vegetação ativa (COCHRAN & BERNER, 1996; CONLEY, 2002; HUMBORG *et al.*, 2006). Aportes diretos provenientes de esgotos urbanos e industriais são insignificantes (SFERRATORE *et al.*, 2006; GARNIER *et al.*, 2006). Todavia, elevadas concentrações de silicato foram observadas nos meses de período seco, onde a precipitação acumulada é menor. As baixas concentrações no período chuvoso podem ser atribuídas à diluição do silicato no corpo hídrico fluvial com o aumento dos níveis dos rios. O Rio Tagaçaba foi responsável pelas maiores concentrações de  $\text{Si(OH)}_4$  durante o período seco. Este rio possui nascente na Serra da Virgem Maria, a uma altitude de 1530 metros e deságua na Baía das Laranjeiras após percorrer 46 Km. Sua declividade acentuada proporciona um elevado potencial erosivo, atributo provavelmente responsável pelas elevadas concentrações de silicato em suas águas (GARBOSSA, 2003).

Os fluxos e descargas de silicato não variaram significativamente entre períodos e eixos. Apesar das maiores concentrações durante o período seco, as descargas de silicato por vias fluviais no CEP foram mais acentuadas durante o período chuvoso, em virtude do incremento no fluxo de água, possibilitando um maior carreamento deste nutriente pelas bacias fluviais. O rio que mais contribuiu com a descarga de silicato foi o Cachoeira, devido ao seu elevado aporte de água, durante o período chuvoso. Contudo, na baía das Laranjeiras (Tagaçaba e Serra Negra), os fluxos calculados por unidade de área de drenagem de cada bacia apresentaram valores superiores ao rio Cachoeira, possivelmente por apresentarem áreas de drenagens menores, proporcionando assim maiores valores por unidade de área.

Os fluxos de silicato determinados no presente estudo quando comparados a outros ambientes fluviais tropicais (rios da China, Vietnam, e rio Amazonas) exibiram valores compatíveis, com exceção dos rios Cachoeira, Tagaçaba e Serra Negra, que apresentaram fluxos superiores aos demais ambientes fluviais (Tabela 10). Tal fato está provavelmente associado à composição das rochas, predominantemente migmatíticas e graníticas, do embasamento cristalino da Serra do Mar (GARBOSSA, 2003).

### 5.3. ÍNDICE DE POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO COSTEIRA (IPEC)

No presente trabalho considerou-se que eutrofização costeira associada à drenagem continental seria consequência do desequilíbrio do aporte de nutrientes, com excesso de Nitrogênio e/ou Fósforo em relação à Sílica, uma vez que a Sílica provém de fontes naturais, quando comparados aos requerimentos inerentes ao crescimento de diatomáceas. As condições necessárias para o crescimento de diatomáceas podem ser estabelecidas através da razão molar C:N:P:Si – 106:16:1:20 (REDFIELD *et al.*, 1963). O IPEC, calculado a partir dos fluxos de NID e PID e Si apresentou valores negativos, indicando que a Si se encontra em excesso em relação ao N e o P, e, portanto, com base na hipótese deste trabalho, caracteriza a ausência de problemas de eutrofização. Contudo, quando calculado a partir dos fluxos de N-total, o rio Guaraguaçu apresentou valor positivo de IPEC, indicando menores quantidades de sílica dissolvida em relação ao nitrogênio total neste rio, o que pode acarretar problemas eventuais de eutrofização costeira para as áreas estuarinas adjacentes à desembocadura do rio. É importante considerar aqui que a fração orgânica dissolvida de N e P pode sustentar uma parte da demanda dos organismos fitoplanctônicos (ZEHR & WARD, 2002). Assim, a utilização do N\_Total e P\_Total parecem ser mais confiáveis no que tange ao potencial de eutrofização por estes constituintes, especialmente em sistemas estuarinos. Por outro lado, a comparação dos IPECs verificados no presente estudo com os sistemas fluviais situados na China, excetuando o Rio Jiazhou,

e o Rio Amazonas (Tabela 10), permite inferir que os problemas de eutrofização em ecossistemas estuarinos, como o CEP, são causados por fontes locais, exacerbadas ou não por processos biogeoquímicos e fatores hidrodinâmicos e climáticos.

*- Razões molares*

As razões N/P obtidas a partir das concentrações molares observadas nos rios que compõem o CEP indicaram, em sua maior parte, limitação potencial pela disponibilidade de fósforo em relação ao nitrogênio. No entanto, os rios Guaraguaçu e Tagaçaba apresentaram razões N/P abaixo de 16, configurando assim ambientes com tendência à limitação por N. No rio Guaraguaçu, esta tendência foi causada pelo elevado teor de fosfato, presente nas suas águas. Contudo, as baixas razões N/P encontradas no rio Tagaçaba estão relacionadas às concentrações inferiores de NID. Os meses de julho, dezembro e fevereiro apresentaram as menores razões NP, fato que pode ser associado a diferentes causas. No mês de julho (período seco) concentrações elevadas de PID foram observadas, enquanto que nos meses de dezembro e fevereiro (meses de verão) as baixas razões se devem a uma menor disponibilidade de NID. Portanto, pode-se inferir que a descarga de água foi o parâmetro decisivo, que proporcionou maiores concentrações de PID durante o período seco e menores concentrações de NID nos meses chuvosos. As razões calculadas a partir dos valores molares de P, N em relação a Si foram baixas, demonstrando elevada disponibilidade de Si, o que permite afirmar que os rios investigados no CEP não apresentam concentrações elevadas de nutrientes (P e N) provenientes de fontes antrópicas.

As razões N/P dos rios que compõem o CEP foram maiores que aquelas observadas em outros sistemas fluviais tropicais (com exceção do rio Jiulongjiang China, que apresentou baixos aportes de P), demonstrando uma maior contribuição de N em relação ao P e a limitação potencial por este último (Tabela 10).

Por outro lado, a confrontação das razões N/P nos rios investigados no presente estudo, com as reportadas por estudos realizados no Complexo Estuarino de Paranaguá (MACHADO *et al.*, 1997; MIZERKOWISKI *et al.*, 2009) corroboram com a hipótese da ocorrência de perdas de nitrogênio no CEP, provavelmente pelo processo de denitrificação (MARONE *et al.*, 2005).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- De acordo com a resolução CONAMA 357/05, os rios investigados no presente trabalho apresentaram concentrações de nutrientes e clorofila-a abaixo das concentrações máximas exigidas, e podem ser inseridos (levando em conta somente os parâmetros investigados) nos padrões de águas doces da classe 1.

- Embora o presente trabalho não tenha como objetivo determinar as características geomorfológicas, a declividade acentuada das bacias, o tipo do solo, e o tipo e quantidade de vegetação determinam o potencial erosivo e, conseqüentemente, a quantidade de material carregado pelas bacias de drenagens. Da mesma forma, as influências antrópicas nas bacias de drenagens abordadas, onde a ocupação urbana, o desflorestamento, construções de estradas pavimentadas, e a intensificação das atividades turísticas são fatores que contribuem para o incremento do aporte de materiais carregados pelos rios que compõem o CEP, são determinantes para a compreensão dos fluxos fluviais de materiais conservativos e não conservativos nas bacias hidrográficas do CEP. A partir destas considerações, sugere-se que estudos futuros contemplem levantamentos detalhados sobre a geomorfologia e sobre o uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas abordadas.

- A pluviosidade atua como intensificador do aporte dos materiais conservativos e não conservativos, pois o aumento das taxas de precipitação implica em maiores vazões e, por conseguinte, maior quantidade de material é transportado pelos rios. Por outro lado, o regime pluviométrico surtiu um efeito inverso para os fluxos de PID, onde as maiores taxas de precipitação diluíram as concentrações deste componente, reduzindo os aportes de PID.

- O rio que apresentou maior vazão no CEP foi o Cachoeira, responsável também pelas maiores descargas de MPS (23 *Ton/Dia* no período chuvoso), nitrato (692 *Kg/Dia* no período seco), NID (759 *Kg/Dia* no período seco), PID (49,45 *Kg/Dia* no período chuvoso) e Si (12217 *Kg/Dia* no período seco) para o CEP.

- Em comparação com estudos pretéritos, os resultados obtidos no presente trabalho indicam que, nos últimos dez anos, os rios que compõem as bacias fluviais do CEP não aumentaram suas descargas e concentrações de MPS.

- As variações sazonais foram significativas na maioria dos rios para os diferentes aportes. Contudo, as variações espaciais - Baía de Paranaguá e Baía das Laranjeiras - são significativas somente para a concentração e aporte de nitrito.

- As razões N/P obtidas a partir das concentrações molares observadas nos rios que compõem o CEP indicam, em sua maior parte, limitação potencial pela disponibilidade de P em relação ao N. No entanto, os rios Guaraguaçu e Tagaça apresentaram relativamente baixas razões N/P, configurando assim ambientes que podem sofrer limitação por N.

- As razões calculadas a partir dos valores molares de N e P, em relação a Si foram baixas, demonstrando elevada disponibilidade de Si, o que permite inferir que os rios investigados no CEP não apresentam concentrações e fluxos de magnitudes elevadas de nutrientes (N e P) provenientes de fontes antrópicas. Além disso, os aportes elevados de Si constituem um fator preponderante para o desenvolvimento de diatomáceas no CEP.

- O IPEC exibiu, na maior parte dos rios, valores negativos, indicando ausência de potencialidade de eutrofização costeira pelo aporte fluvial. No entanto, o rio Guaraguaçu evidenciou valor positivo de IPEC, demonstrando um pequeno potencial de eutrofização costeira, devido ao excesso de N total em relação à sílica dissolvida.

- O presente trabalho fornece informações primárias para a elaboração e do balanço do Nitrogênio e Fósforo no CEP, demandando, portanto, estudos adicionais que contribuam para uma melhor compreensão dos processos biogeoquímicos que atuam neste sistema.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIGUETTO, FILHO J. M. **As interações entre a sociedade e a natureza nos meios rural e marítimo do litoral do Paraná: diagnóstico e modelos de interação**. Curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento da UFPR, Curitiba, PR, 1995.

ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. São Paulo. 334 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

ANGULO, R. J. **Feições deposicionais associadas aos complexos estuarinos da costa paranaense**. In: Resumos do 5º Congresso da ABEQUA, Curitiba, PR, 1995.

BERLINSKI, N.; BOGATOVA, Y.; GARKAVAYA, G. **Estuary of Danube**. Hdb Env Chem. v.5: p.233-264, 2006.

BILLEN, G., GARNIER, J. **River basin nutrient delivery to the coastal sea: Assessing its potential to sustain new production of non-siliceous algae**. Marine Chemistry, Paris, v.106, p.148–160, 2007

BLANKENSTEYN, A.; QUEIROZ, R. L.; MANGRICH, A. S.; SILVA, L. & SCHMIDLIN, D. **Estado atual de conservação dos manguezais da Baía de Paranaguá, com ênfase na área de proteção ambiental de Guaraqueçaba (APA)**. 60 p. Relatório de consultoria ambiental. Projeto co-gestão de manejo ambiental e desenvolvimento comunitário na APA de Guaraqueçaba (Convênio 12/94 SPVS/IBAMA/PNMA), Curitiba, PR, 1995.

BOYER, E. W.; HOWARTH, R. W.; GALLOWAY, J. N.; DENTENER, F. J.; GREEN, P.A.; VOROSMARTY, C.J. **Riverine nitrogen export from the continents to the coasts**. Global Biogeochemical Cycles, v.20, GB1S91, 2006.

BRANDINI, N. **Biogeoquímica da Baía de Guaratuba, Paraná, Brasil: origem, metabolismo, balanço de massa e destino da matéria biogênica**. Tese (Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geociências com área de Concentração Geoquímica Ambiental), Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. 298 p., 2008.

BRANDINI N. **Variação espacial e sazonal da produção primária do fitoplâncton em relação às propriedades físicas e químicas na Baía das Laranjeiras e áreas adjacentes do complexo estuarino da Baía de Paranaguá (Paraná - Brasil)**. Curitiba 85 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

BURTON, J. D., LISS, P. S. **Estuarine chemistry**. Academic, London Liss, P. S. in Estuarine Chemistry (Eds Burton, J.D.; Liss, P.S.), (Academic, London), p.93- 130, 1976.

CAMARGO, A.F.M.; FERREIRA, R.A.R.; SCHIAVETTI, A.; BINI, L.M. Influence of physiography and human activity on limnological characteristics of lotic ecosystems of the south coast of São Paulo, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliênci**a 8, p 231-243, 1996.

CAMERON W. M.; PRITCHARD D. W. **Estuaries**. In Hill, M. N. (Ed.) The Sea. Wiley, New York ,v. 2, p. 306-324, 1965.

CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F.; CORRELL, D. L.; HOWARTH, R. W.; SHARPLEY, A. N.; SMITH, V. H. **Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen**. Ecological Applications v. 8, 559-568, 1998.

CONAMA. RESOLUÇÃO 357, Ministério do meio Ambiente. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. 2005.

CONLEY, D. J. **Terrestrial ecosystems and the global biogeochemical silica cycle**. Global Biogeochemical Cycles 16 (4), 1121. 2002.

CORRELL, D. L. **The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: a review**. Journal of Environmental Quality v. 27, p261-266. 1998.

COCHRAN, M. F.; BERNER, R. A. **Promotion of chemical weathering by higher plants: field observations on Hawaiian basalts**. Chemical Geology v. 132, p. 71-77, 1996.

COCIASU, A., DOROGAN, L., HUMBORG, C., POPA, L., **Long-term ecological changes in Romanian coastal waters of the Black Sea**. Marine Pollution Bulletin v. 32, p.32-38, 1996.

CUGIER, P.; BILLEN, G.; GUILLAUD, J. F.; GARNIER, J.; MÉNESGUEN, A. **Modelling eutrophication of the Seine Bight under present, historical and future Seine river nutrient loads**. Journal of Hydrology v. 304, p.381-396, 2005

CURCIO, G. R.; RACHWAL, M.F.G.; WISNIEWSKI, C. & TIEPOLO, G. **Desmatamento de margens de rios: a situação do Rio Cachoeira. In: Caracterização do Nimad do litoral paranaense. Meio ambiente e desenvolvimento no Litoral do Paraná**. Diagnóstico. R.E. de Lima & R.R.B. Negrelle (organizadores), Editora da UFPR, Curitiba, p.77-81, 1998.

CHAPARRO, O. R.; SEGURA, C. J.; MONTIEL, Y. A.; THOMPSON, R. J.; NAVARRO, J.M. **Variations in the quantity and composition of seston from an estuary in southern Chile on different temporal scales**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v.76 , p.845-860, 2008.

DAY, J. W.; HALL, A. S.; KEMP, W. M.; YANEZ-ARANCIBIA, A. **Estuarine ecology**. New York Usa Wiley Interscience; John Wiley; Sons, Los Angeles, 558 p. 1989.

DE MELLO, W. Z. **Precipitation chemistry in the coast of the metropolitan region of Rio de Janeiro, Brazil.** *Environmental Pollution*, v. 144, p. 235-242, 2001.

DORTCH, Q.; RABALAIS, N. N.; TURNER, R. E.; QURESHI, N. A. **Impacts of changing Si/N ratios and phytoplankton species composition.** In: Rabalais, N.N., Turner, R.E. (Eds.), **Coastal Hypoxia: Consequences for Living Resources and Ecosystems. Coastal and Estuarine Studies**, vol. 58. American Geophysical Union, Washington, DC, p. 37–48, 2001.

DUMONT, E., HARRISON, J., KROEZE, C., BAKKER, E., SEITZINGER, S., 2005. **Global distribution and sources of DIN export to the coastal zone: results from a spatially explicit, global model.** *Global Biogeochemical Cycles* v.19, GB4S02.

DYER, K.R. 1973. **Estuaries: A physical introduction.** Wiley-Interscience. New York, 140p.

ESTEVEZ, F.A., 1998. **Fundamentos de limnologia.** 2.ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência.

GARBOSSA, R. A. 2003. **O controle litoestrutural na organização espacial da bacia do rio Tagacaba (Paraná): uma análise morfométrica da rede de drenagem.** 118 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GRASSHOFF K. EHRHARDT M., KREMLING K. 1983. (eds.) **Methods of Seawater Analysis.** 2ª edição. Verlag Chemie, Weinheim, p. 419.

HUMBORG, C., PASTUSZAK, M., AIGARS, J., SIEGMUND, H., MORTH, C.M., ITTEKOT, V., 2006. **Decreased silica land–sea fluxes through damming in the Baltic Sea catchment. Significance of particle trapping and hydrological alterations.** *Biogeochemistry* 77, 265–281.

IPARDES, 1989. **Zoneamento do litoral paranaense** (Convênio SEPL/IPARDES). Curitiba, PR, 175p.

KENNISH, M. J. 1986. Ecology of estuaries. **Physical and Chemical aspects**, v. 1, p.254.

KNOPPERS, B. A.; BRANDINI, F. P.; & THAMM, C. A. 1987. **Ecological studies in the bay of Paranaguá. II. Some physical and chemical characteristics.** *Nerítica*, v.2, p: 1-36.

KNOX, G. A. (1986). **The estuarine environment. I. Introduction.** In: **Estuarine ecosystems: a systems approach.** G. A Knox (ed.), Academic Press, New Zealand, p: 15-36.

LANA, P.C. ; MARONE, E.; LOPES, R.M.; MACHADO, E.C. (2000). **The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil.** In: *Ecological*

Studies, Coastal Marine Ecosystems of Latin America. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p: 131-145.

LANE, L.J.; HERNANDEZ, M. & NICHOLS, M. (1997). **Processes controlling sediment yield from watersheds as functions of spatial scale.** *Environmental Modelling & Software*, v. 12 (4), p: 355-369.

Lancelot, C., Billen, G., Sournia, A., Weisse, T., Colijn, F., Veldhuis, M., Davies, A., Wassmann, P., 1987. **Phaeocystis blooms and nutrient enrichment in the continental coastal zone of the North Sea.** *Ambio* 16, 38–46.

Lancelot, C., Billen, G., Barth, H. (Eds.), 1991. **The Dynamics of Phaeocystis Blooms in Nutrient Enriched Coastal Zone.** Water Pollution Research Reports Series, vol. 23. CEC DGXII, Brussels. 106 pp.

Lancelot, C., Spitz, Y., Gypens, N., Ruddick, K., Becquevort, S., Rousseau, V., Lacroix, G., Billen, G., 2005. **Modelling diatom and Phaeocystis blooms and nutrient cycles in the Southern Bight of the North Sea: the MIRO model.** *Marine Ecology. Progress Series* 289, 63–78

LICHT, O. A. B.; PIEKARZ, G. F.; CALDASSO DA SILVA, J. C. & LOPES Jr., I. **Levantamento geoquímico multi-elementar de baixa densidade no estado do Paraná (Hidroggeoquímica - resultados preliminares).** A Terra em revista. *Revista técnica e informativa da CPRM* (3), p. 34-46, 1997.

LIMA, R. E. et al. **Caracterização do Nímad do litoral paranaense. Meio ambiente e desenvolvimento no litoral do Paraná.** Diagnóstico. Curitiba: UFPR. 258p., 1998.

MACHADO, E. C.; DANIEL, C. B.; BRANDINI, N.; QUEIROZ, R. L. V. **Temporal and spatial dynamics of nutrients and particulate suspended matter in Paranaguá Bay, PR, Brazil.** *Nerítica*, Curitiba, v.11, p. 15-34, 1997.

MAIDMENT, D. R.. **Handbook of hydrology.** D.R. Maidment (Ed.), McGraw-Hill, Inc., 29 capítulos, 1992.

MANTOVANELLI, A. **Caracterização da Dinâmica Hídrica e do Material Particulado em Suspensão na Baía de Paranaguá e em sua Bacia de Drenagem.** Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 169p., 1999.

MARCHETTI, R. **Algal blooms and gel production in the Adriatic sea.** In: Barth, H., Fegan, L. (Eds.), **Eutrophication Related Phenomena in the Adriatic Sea and in other Mediterranean Coastal Zones.** Water Pollution Research Reports Series, vol. 16. CEC DGXII, Brussels, pp. 21–42, 1991.

MARONE, E. ; MACHADO, E. C. ; LOPES, R. M. ; SILVA, E. T. **Land-ocean fluxes in the Paranaguá Bay Estuarine System.** *Brazilian Journal Of Oceanography*, São Paulo, v. 53, n. 3/4, p. 169-181, 2005.

MARQUES, P. H. C. **Integração Entre Ecologia de Bacias Hidrográficas E Educação Ambiental Para a Conservação dos Rios da Serra do Mar No Estado do Paraná.** Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP. 177p., 2005.

MIRANDA, L. B. **Sistemas estuarinos de planície costeira: estrutura dinâmica, processos de mistura e aplicações.** In: Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira, Estrutura, Função e Manejo 2. ACIESP, Águas de Lindóia, São Paulo, v. 71 (2), p. 1 – 46, 1990.

MIZERKOWSKI, B., LADWIG, N., HESSE, K. J., MACHADO, E., ROSA, R. A., DE ARAÚJO, T., KOCH, D. SOURCES AND DISPERSION OF NUTRIENTS IN PARANAGUÁ BAY. 2009. In: Brazil-Germany Cooperation on Marine Sciences Status Seminar, 2009, Curitiba. SS Curitiba. Curitiba : BMBF-CNPq. 2009.

MORRIS, A. W. **Estuarine chemistry and general survey strategy.** In: Head PC (ed) Practical estuarine chemistry: a handbook. Cambridge University, Cambridge, 1 p. 1985

NAGASHIMA, E. S., OKAWA, C. M. P., & OLIVEIRA, S. D. **Projeto Floresta Atlântica. Relatório referente ao monitoramento de estações fluviométricas e sedimentológicas da Bacia Litorânea.** Apresentação dos dados coletados, SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Curitiba, PR, 1996.

NICHOLS, M.M. **Effects of fine sediment resuspension in estuaries.** In: MEHTA, A. J. (ed.). Estuarine cohesive sediment dynamics. New York: Springer-Verlag, v. 14, p. 5-42, 1986.

OFFICER, C. B., BIGGS, R. B., TAFT, J. L., CRONIN, L. E., TYLER, M., BOYNTON, W. R. **Chesapeake Bay anoxia: origin, development and significance.** Science v. 223, p. 22–27, 1984.

OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E. **Mapeamento geomorfológico.** In: LIMA, R. E. et al. **Caracterização do Nímad do litoral paranaense.** Meio ambiente e desenvolvimento no litoral do Paraná. Diagnóstico. Curitiba: UFPR. p. 41-48, 1998.

OKAWA, C. M. P., MANASSÉS, E. J., & NAGAHISMA, E. S. **Projeto Floresta Atlântica. Relatório referente a cálculos de descarga sólida total baseados em dados sedimentológicos.** SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Curitiba, PR, 1997.

PAULA E. V., CUNICO C. **O assoreamento das baías de Antonina e de Paranaguá e a gestão de suas bacias hidrográficas.** In: Dragagens Portuárias no Brasil. Antonina, Paraná. Cap. 3, p. 144 – 154, 2007.

PINDER, L.C.V., MARKER, A.F.H., PINDER, A.C., INGRAM, J.K.G., LEACH, D.V. AND COLLETT, G.D., **Concentrations of suspended chlorophyll-a in the Humber Rivers**. Sci. Total Environ. 194/195, pp. 373–378, 1997.

POSTEL, S. L.; CARPENTER, S. R. **Freshwater ecosystem services**. In: Daily, G.C. (Ed.), Nature's Services. Island Press, Washington, D.C, p. 195-214, 1997

PRITCHARD, D. W. **What is an Estuary: Physical View Point**. In: LAUFF, G. H. (eds). Estuaries. Washington, American Association for Advance of Science, p.3-5, 1967.

RABALAIS, N. N.; TURNER, R. E.; JUSTIC', D.; DORTCH, Q.; WISEMAN JR.,W.J.; SEN GUPTA, B.K. **Nutrient changes in the Mississippi River and system responses on the adjacent continental shelf**. Estuaries v. 19, p. 386–407. 1996.

RABALAIS, N. N. **Nitrogen in aquatic ecosystems**. Ambio v. 31, p. 102–112, 2002

RHA ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA. **Estimativa do Volume de Água Doce que Deságua no Litoral Paranaense**. 34p. 2008.

ROLAND, F., CÉSAR, D. MARINHO, M. **Lições de liminologia**. Ed.RiMa. São Carlos. 532p. 2005.

ROUSSEAU, V.; BECQUEVORT, S.; PARENT, J. Y.; GASPARINI, S.; DARO, M. H.; TACKX, M.; LANCELOT, C. **Trophic efficiency of the planktonic food web in a coastal ecosystem dominated by Phaeocystis colonies**. Journal of Sea Research 43, 357–372, 2000.

RUTTENBERG, K. C. **The global phosphorus cycle**. In: HOLLAND, H. D.; TUREKIAN, K.K. (Eds.) **Treatise on geochemistry**. Amsterdam: Elsevier Publishers, Vol. 8, p. 585-643, 2005.

SFERRATORE, A., GARNIER, J., BILLEN, G., CONLEY, D., PINAULT, S., **Silica diffuse and point sources in the Seine watershed**. Environmental Science and Technology 40, 6630–6635. 2006.

SLOMP C., VAN RAAPHROST W., MALSCHAERT J. F .P., KOK A., SANDEE A. J. J., **The effect of deposition of organic matter on phosphorus dynamics in experimental marine sediment systems**, Hydrobiologia 253p. 83–98. 1993.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F. J. **Biometry: the principles and practice of statistics in biological research**. 3<sup>rd</sup> ed. W.H. Freeman, New York, 887p. 1995.

STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. **Fisheries Research Board of Canada. A practical handbook of seawater analysis.** Ottawa: Bulletin 2. ed, p.167. 311. 1972.

TANIGUCHI, G. M. **Variação Espacial e Temporal de Características Limnológicas abióticas no Gradiente Litorâneo Limnético da Lagoa do Diogo, Planície de Inundação do Rio Mogi-Guaçu – SP.** São Carlos. (Dissertação de Mestrado). Ufscar. 1998.

TEIXEIRA,W.; TOLEDO,M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. (Org.) **Decifrando a Terra.** Oficina de Textos. 558p. Item 11.3 p. 192 – 214. 2000.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia (Ciência e Aplicação),** C.E.M. Tucci (Org.), Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, p: 1-943. 1993.

Turner, R.E., Rabalais, N.N., **Evidence for coastal eutrophication near the Mississippi River Delta.** Nature 368, 619–621. 1994.

Turner, R.E., Qureshi, N.A., Rabalais, N.N., Dortch, Q., Justic', D., Shaw, R., Cope, J., **Fluctuating silicate:nitrate ratios and coastal plankton food webs.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 95, 13048–13051. 1998.

van LEUSSEN, W. DRONKERS, J. 1988. **Physical processes in estuaries: an introduction.** *In:* Physical processes in estuaries. J. Dronkers & W. van Leussen (eds.), Springer-Verlag. p: 1:18.

W.F. HU, W. LO, H. CHUA, S.N. SIN, P.H.F. YU. **Nutrient release and sediment oxygen demand in a eutrophic land-locked embayment in Hong Kong,** Environ. Int. 26 369–375.2001.

## ANEXOS

ANEXO 1. CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DE CLOROFILA-A NOS DIFERENTES RIOS. MÉDIAS E DESVIOS PADRÕES PARA CADA PERÍODO (SECO/CHUVOSO) E EM CADA EIXO (BAÍA DE PARANAGUÁ E LARANJEIRAS).

Clorofila-a mg/dm <sup>3</sup>	Rios	PERÍODO SECO							PERÍODO CHUVOSO							
		abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	MÉDIAS	mar/08	out/08	nov/08	dez/08	jan/09	fev/09	MÉDIAS	
BAÍA DE PARANAGUÁ	Guaraguaçu	2,86	2,98	-	10,47	1,26	1,95	<b>3,9 ± 3,8</b>	-	0,28	-	0,40	-	1,28	<b>0,7 ± 0,5</b>	
	Sagrado	1,01	1,23	10,68	5,41	1,21	-	<b>3,9 ± 4,2</b>	3,18	0,29	0,69	0,84	1,77	1,30	<b>1,4 ± 1</b>	
	Nhundiaquara	3,65	0,67	7,09	7,46	1,96	3,21	<b>4 ± 2,7</b>	1,99	1,04	0,83	1,15	1,62	0,97	<b>1,3 ± 0,45</b>	
	Cacatú	2,62	0,82	-	2,68	0,57	1,32	<b>1,6 ± 1</b>	0,03	1,27	0,04	0,27	-	0,27	<b>0,4 ± 0,5</b>	
	Cachoeira	-	0,03	3,00	4,43	2,30	3,02	<b>2,6 ± 1,6</b>	-	4,23	-	1,41	0,70	0,59	<b>1,7 ± 1,7</b>	
	Faisqueira	0,04	-	0,95	5,82	1,96	2,07	<b>2,2 ± 2,2</b>	0,35	0,73	0,53	0,47	0,72	0,12	<b>0,5 ± 0,2</b>	
	MÉDIA SAZONAL	3,05								0,98						
DESVIO PADRÃO	± 2,97							± 0,96								
BAÍA DAS LARANJEIRAS	Tagaçaba	-	0,94	-	1,93	0,98	14,14	<b>4,5 ± 6,5</b>	1,13	4,47	1,45	-	1,44	2,45	<b>2,2 ± 1,4</b>	
	Serra Negra	-	1,00	3,00	-	-	-	<b>2 ± 1,4</b>	-	3,02	1,00	0,10	0,46	0,85	<b>1 ± 1,1</b>	
	Guaraqueçaba	0,20	5,28	2,32	0,33	0,02	1,11	<b>1,6 ± 2</b>	-	6,49	0,81	0,12	2,40	0,69	<b>2,1 ± 2,6</b>	
	MÉDIA SAZONAL	2,6								1,79						
	DESVIO PADRÃO	± 3,91								± 1,76						







ANEXO 4. CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSIS DE NITRATO NOS DIFERENTES RIOS. MÉDIAS E DESVIOS PADRÕES PARA CADA PERÍODO (SECO/CHUVOSO) E EM CADA EIXO (BAÍA DE PARANAGUÁ E LARANJEIRAS).

<b>Nitrato mg/dm<sup>3</sup></b>	<b>Rios</b>	<b>PERÍODO SECO</b>							<b>PERÍODO CHUVOSO</b>						
		<i>abr/08</i>	<i>mai/08</i>	<i>jun/08</i>	<i>jul/08</i>	<i>ago/08</i>	<i>set/08</i>	<b>MÉDIAS</b>	<i>mar/08</i>	<i>out/08</i>	<i>nov/08</i>	<i>dez/08</i>	<i>jan/09</i>	<i>fev/09</i>	<b>MÉDIAS</b>
BAÍA DE PARANAGUÁ	Guaraguaçu	0,06	0,24	0,20	0,12	0,18	0,07	<b>0,14</b> ± 0,07	0,04	0,03	0,02	0,01	0,05	0,01	<b>0,03</b> ± 0,02
	Sagrado	0,13	0,14	0,15	0,11	0,07	0,02	<b>0,10</b> ± 0,05	0,16	0,06	0,12	0,12	0,15	0,04	<b>0,11</b> ± 0,05
	Nhundiaquara	0,18	0,14	0,19	0,09	0,05	0,02	<b>0,11</b> ± 0,07	0,15	0,04	0,12	0,08	0,15	0,04	<b>0,01</b> ± 0,05
	Cacatú	0,13	0,14	0,13	0,06	0,10	0,03	<b>0,01</b> ± 0,04	0,10	0,03	0,06	0,04	0,07	0,02	<b>0,05</b> ± 0,03
	Cachoeira	0,26	0,37	0,25	0,17	0,41	0,12	<b>0,26</b> ± 0,11	0,15	0,12	0,19	0,09	0,11	0,06	<b>0,12</b> ± 0,04
	Faisqueira	0,15	0,15	0,24	0,07	0,12	0,04	<b>0,13</b> ± 0,07	0,10	0,04	0,08	0,06	0,08	0,04	<b>0,07</b> ± 0,03
	<b>MÉDIA SAZONAL</b>	<b>0,14</b>							<b>0,08</b>						
	<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>± 0,09</b>							<b>± 0,05</b>						
BAÍA DAS LARANJEIRAS	Tagaçaba	0,09	0,16	0,12	0,10	0,04	0,01	<b>0,09</b> ± 0,05	0,11	0,03	0,06	0,06	0,07	0,02	<b>0,06</b> ± 0,03
	Serra Negra	0,10	0,15	0,10	0,13	0,03	0,02	<b>0,09</b> ± 0,05	0,13	0,03	0,07	0,03	0,07	0,02	<b>0,06</b> ± 0,04
	Guaraqueçaba	0,13	0,13	0,10	0,11	0,09	0,03	<b>0,01</b> ± 0,04	0,11	0,04	0,08	0,04	0,07	0,03	<b>0,06</b> ± 0,03
	<b>MÉDIA SAZONAL</b>	<b>0,09</b>							<b>0,06</b>						
	<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>± 0,04</b>							<b>± 0,03</b>						



ANEXO 6. CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DE NID NOS DIFERENTES RIOS. MÉDIAS E DESVIOS PADRÕES PARA CADA PERÍODO (SECO/CHUVOSO) E EM CADA EIXO (BAÍA DE PARANAGUÁ E LARANJEIRAS).

NID mg/dm³	Rios	PERÍODO SECO							PERÍODO CHUVOSO							
		abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	MÉDIAS	mar/08	out/08	nov/08	dez/08	jan/09	fev/09	MÉDIAS	
BAÍA DE PARANAQUÁ	Guaraguaçu	0,13	0,28	0,26	0,33	0,36	0,09	<b>0,24</b> ± 0,11	0,09	0,07	0,11	0,09	0,19	0,08	<b>0,10</b> ± 0,04	
	Sagrado	0,16	0,16	0,18	0,16	0,10	0,03	<b>0,13</b> ± 0,06	0,29	0,08	0,16	0,15	0,19	0,07	<b>0,15</b> ± 0,08	
	Nhundiaquara	0,21	0,25	0,29	0,25	0,07	0,08	<b>0,19</b> ± 0,09	0,22	0,06	0,15	0,13	0,22	0,08	<b>0,14</b> ± 0,07	
	Cacatú	0,15	0,15	0,15	0,10	0,13	0,04	<b>0,12</b> ± 0,04	0,11	0,05	0,08	0,05	0,11	0,03	<b>0,07</b> ± 0,03	
	Cachoeira	0,30	0,38	0,26	0,20	0,44	0,13	<b>0,29</b> ± 0,11	0,18	0,13	0,21	0,11	0,16	0,08	<b>0,14</b> ± 0,05	
	Faisqueira	0,18	0,17	0,27	0,11	0,14	0,05	<b>0,16</b> ± 0,07	0,16	0,06	0,12	0,08	0,10	0,05	<b>0,09</b> ± 0,04	
	MÉDIA SAZONAL	0,19								0,12						
DESVIO PADRÃO	± 0,09								± 0,06							
BAÍA DAS LARANJEIRAS	Tagaçaba	0,11	0,19	0,15	0,13	0,06	0,02	<b>0,11</b> ± 0,06	0,12	0,04	0,08	0,08	0,11	0,04	<b>0,08</b> ± 0,04	
	Serra Negra	0,12	0,17	0,12	0,15	0,07	0,03	<b>0,11</b> ± 0,06	0,15	0,04	0,11	0,05	0,10	0,04	<b>0,08</b> ± 0,04	
	Guaraqueçaba	0,14	0,17	0,12	0,28	0,11	0,03	<b>0,14</b> ± 0,08	0,13	0,05	0,10	0,06	0,11	0,04	<b>0,08</b> ± 0,04	
	MÉDIA SAZONAL	0,12								0,08						
	DESVIO PADRÃO	± 0,06								± 0,03						

ANEXO 7. CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DE PID NOS DIFERENTES RIOS. MÉDIAS E DESVIOS PADRÕES PARA CADA PERÍODO (SECO/CHUVOSO) E EM CADA EIXO (BAÍA DE PARANAGUÁ E LARANJEIRAS).

<b>PID</b> <b>mg/dm<sup>3</sup></b>	<b>Rios</b>	<b>PERÍODO SECO</b>						<b>MÉDIAS</b>	<b>PERÍODO CHUVOSO</b>						<b>MÉDIAS</b>
		<i>abr/08</i>	<i>mai/08</i>	<i>jun/08</i>	<i>jul/08</i>	<i>ago/08</i>	<i>set/08</i>		<i>mar/08</i>	<i>out/08</i>	<i>nov/08</i>	<i>dez/08</i>	<i>jan/09</i>	<i>fev/09</i>	
BAÍA DE PARANAGUÁ	Guaraguaçu	0,001	0,019	0,012	0,152	0,020	0,014	<b>0,036</b> ± 0,57	0,013	0,014	0,010	0,020	0,014	0,033	<b>0,02</b> ± 0,008
	Sagrado	0,014	0,013	0,008	0,018	0,011	0,006	<b>0,012</b> ± 0,004	0,013	0,009	0,009	0,018	0,010	0,008	<b>0,011</b> ± 0,004
	Nhundiaquara	0,012	0,021	0,014	0,026	0,007	0,008	<b>0,015</b> ± 0,007	0,020	0,010	0,013	0,020	0,011	0,012	<b>0,014</b> ± 0,005
	Cacatú	0,005	0,004	0,006	0,009	0,006	0,003	<b>0,006</b> ± 0,002	0,006	0,008	0,006	0,014	0,006	0,007	<b>0,008</b> ± 0,003
	Cachoeira	0,011	0,011	0,013	0,016	0,009	0,005	<b>0,01</b> ± 0,003	0,017	0,009	0,011	0,012	0,013	0,006	<b>0,011</b> ± 0,004
	Faisqueira	0,017	0,015	0,012	0,021	0,013	0,007	<b>0,014</b> ± 0,005	0,014	0,010	0,017	0,019	0,012	0,011	<b>0,014</b> ± 0,003
	<b>MÉDIA SAZONAL</b>	<b>0,016</b>							<b>0,010</b>						
	<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>± 0,02</b>							<b>± 0,004</b>						
BAÍA DAS LARANJEIRAS	Tagaçaba	0,018	0,012	0,012	0,015	0,010	0,004	<b>0,012</b> ± 0,005	0,013	0,010	0,012	0,054	0,005	0,007	<b>0,017</b> ± 0,019
	Serra Negra	0,011	0,010	0,009	0,015	0,008	0,005	<b>0,01</b> ± 0,003	0,003	0,007	0,008	0,016	0,010	0,006	<b>0,008</b> ± 0,004
	Guaraqueçaba	0,010	0,008	0,008	0,009	0,011	0,005	<b>0,009</b> ± 0,002	0,008	0,005	0,009	0,013	0,008	0,008	<b>0,009</b> ± 0,003
	<b>MÉDIA SAZONAL</b>	<b>0,010</b>							<b>0,011</b>						
	<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>± 0,003</b>							<b>± 0,01</b>						

ANEXO 8. CONCENTRAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DE SILICATO NOS DIFERENTES RIOS. MÉDIAS E DESVIOS PADRÕES PARA CADA PERÍODO (SECO/CHUVOSO) E EM CADA EIXO (BAÍA DE PARANAGUÁ E LARANJEIRAS).

Silicato mg/dm <sup>3</sup>	Rios	PERÍODO SECO							PERÍODO CHUVOSO								
		abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	MÉDIAS	mar/08	out/08	nov/08	dez/08	jan/09	fev/09	MÉDIAS		
BAÍA DE PARANAGUÁ	Guaraguaçu	0,29	3,62	2,95	0,90	2,88	0,41	1,84 ± 1,47	0,24	0,26	0,13	0,13	0,63	0,71	0,35 ± 0,26		
	Sagrado	1,78	10,26	4,75	1,90	7,78	0,69	4,52 ± 3,81	1,66	5,24	2,10	4,09	5,11	3,76	3,66 ± 1,5		
	Nhundiaquara	0,57	4,37	3,51	0,78	4,52	0,56	2,38 ± 1,95	0,61	1,13	0,24	0,57	2,07	1,04	0,94 ± 0,64		
	Cacatú	0,27	3,79	1,00	0,36	1,66	0,16	1,20 ± 1,39	0,18	0,24	0,14	0,37	0,77	0,47	0,36 ± 0,23		
	Cachoeira	0,92	5,50	3,12	1,54	6,16	1,52	3,12 ± 2,23	1,42	4,05	0,95	4,28	3,67	3,77	3,02 ± 0,99		
	Faisqueira	2,00	4,26	3,56	1,32	5,72	0,62	2,91 ± 1,94	1,54	2,60	1,40	3,00	3,95	3,18	2,40 ± 0,99		
	MÉDIA SAZONAL	2,67								1,81							
	DESVIO PADRÃO	± 2,36								± 1,6							
BAÍA DAS LARANJEIRAS	Tagaçaba	1,91	25,70	6,14	1,59	5,82	0,76	6,98 ± 9,44	1,47	3,70	2,02	3,77	5,94	3,86	3,46 ± 1,58		
	Serra Negra	0,96	2,08	5,69	1,04	6,46	0,24	2,74 ± 2,66	0,89	3,70	1,93	1,87	4,48	3,00	2,64 ± 1,33		
	Guaraqueçaba	0,85	3,20	5,06	0,63	4,98	0,80	2,58 ± 2,11	0,62	2,53	0,63	0,49	2,40	1,77	1,56 ± 0,94		
	MÉDIA SAZONAL	4,11								2,50							
	DESVIO PADRÃO	± 5,8								± 1,46							